

TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO E MAPEAMENTO DE PATOLOGIAS EM FACHADAS

ARTUR FILIPE MOREIRA DOS SANTOS

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES CIVIS

Orientador: Professor Doutor Vasco Manuel Araújo Peixoto de Freitas

JULHO DE 2017

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2016/2017

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2016/2017 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2017*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

À minha família, sempre presente,
em especial à minha filha Leonor.

Quanto fui, quanto não fui, tudo isso sou.
Álvaro de Campos

AGRADECIMENTOS

A elaboração desta tese de mestrado representa o culminar do meu percurso académico, o qual foi acompanhado em permanência pela minha família: pais, esposa, filha, irmã e sobrinho. A eles agradeço a presença e a motivação, que sempre souberam alimentar.

Um dos aspetos que determinam o resultado de uma tese é, definitivamente, o respetivo Orientador. No meu caso, em particular, o Professor Vasco Freitas representa uma figura marcante nesta caminhada, não só pelo contributo científico de exceção, como também pela boa disposição, serenidade, empenho e capacidade crítica, atributos fundamentais para o aperfeiçoamento deste trabalho académico.

Não posso deixar de mencionar todos os colegas de curso que me foram acompanhando nos últimos anos, pela amizade que me dedicaram e por me terem integrado como se fosse um deles, apesar da diferença de idades.

RESUMO

Contrariando a tendência de edificação de construção nova verificada nos últimos anos, atualmente assiste-se a uma vaga de reabilitação de edifícios antigos nos grandes centros urbanos, como Lisboa e Porto. Não obstante, verifica-se que os edifícios mais recentes, na sua maioria com estrutura em betão armado, denotam precocemente patologias diversas, ainda que, por norma, não sejam objeto de intervenção.

Dada a importância das fachadas dos edifícios, face à exposição e visibilidade que apresentam e à sua função de “pele”, o estudo de diagnóstico destes elementos revela-se fundamental. Neste âmbito, para a obtenção de um estudo de diagnóstico exaustivo e rigoroso, torna-se necessário o desenvolvimento de metodologias de inspeção e diagnóstico que passam pelo mapeamento das patologias desses elementos, algo que não tem acontecido na prática.

Procurando dar uma resposta assertiva à referida lacuna, pretende-se com o desenvolvimento desta tese elaborar uma metodologia de diagnóstico e mapeamento de patologias em fachadas – TDM -, visando o mapeamento das patologias das fachadas, a sua correlação e o seu diagnóstico. Para tal, a análise das patologias ocorrerá em três níveis de observação – a face exterior, a face interior e o interior do elemento.

Ambiciona-se, desta forma, alcançar um conhecimento profundo das patologias que afetam as fachadas, alcançando as condições necessárias para elaborar o estudo de diagnóstico desejado e exigível.

PALAVRAS-CHAVE: diagnóstico, mapeamento, patologias, fachadas, reabilitação.

ABSTRACT

Contrary to the trend of building new construction verified in recent years, there is currently a wave of rehabilitation of old buildings in large urban centers, such as Lisbon and Porto. Nevertheless, the most recent buildings, mostly with reinforced concrete structures, are early signs of various pathologies, although, as a rule, they are not subject to intervention.

Given the importance of building façades, given the exposure and visibility they present and their "skin" function, the study of the diagnosis of these elements is fundamental. In this context, in order to obtain an exhaustive and rigorous diagnostic study, it is necessary to develop inspection and diagnostic methodologies that go through the mapping of the pathologies of these elements, something that has not happened in practice.

Looking for an assertive answer to the mentioned situation, it is intended with the development of this thesis to elaborate a methodology of diagnosis and mapping of pathologies in façades – TDM -, aiming the mapping of faults pathologies, their correlation and their diagnosis. For this, the analysis of the pathologies will occur in three levels of observation - the outer face, the inner face and the interior of the element.

In this way, the aim is to reach a deep knowledge of the pathologies that affect the façades, reaching the necessary conditions to elaborate the desired and required diagnostic study.

KEYWORDS: diagnosis, mapping, pathologies, façades, rehabilitation.

ÍNDICE GERAL

| | |
|---|-------|
| AGRADECIMENTOS | i |
| RESUMO | iii |
| ABSTRACT | v |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1. NOTA INTRODUTÓRIA | 1 |
| 1.2. OBJETIVOS | 2 |
| 1.2.1. OBJETIVO GERAL DO TRABALHO | 2 |
| 1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 3 |
| 1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO | 3 |
| 2. TÉCNICAS DE MAPEAMENTO DE PATOLOGIAS EM FACHADAS | 5 |
| 2.1. ENQUADRAMENTO GERAL | 5 |
| 2.1.1. BREVE REFLEXÃO SOBRE A REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS EM PORTUGAL | 5 |
| 2.1.2. A IMPORTÂNCIA DAS FACHADAS NOS EDIFÍCIOS | 6 |
| 2.1.3. METODOLOGIA PARA A ELABORAÇÃO DO PROJETO DE REABILITAÇÃO | 7 |
| 2.2. TÉCNICAS DE MAPEAMENTO DE PATOLOGIAS EM FACHADAS | 8 |
| 2.2.1. MAPEAMENTO DE PATOLOGIAS EM FACHADAS ATRAVÉS DA OBSERVAÇÃO VISUAL DIRETA | 9 |
| 2.2.1.1. Fundamentos | 9 |
| 2.2.1.2. Metodologia | 9 |
| 2.2.1.3. Forma de representação gráfica | 9 |
| 2.2.1.4. Potencialidades | 10 |
| 2.2.1.5. Limitações | 10 |
| 2.2.2. MAPEAMENTO DE PATOLOGIAS EM FACHADAS ATRAVÉS DE LEVANTAMENTO FOTOGRÁFICO | 11 |
| 2.2.2.1. Fundamentos | 11 |
| 2.2.2.2. Metodologia | 11 |
| 2.2.2.3. Forma de representação gráfica | 12 |
| 2.2.2.4. Potencialidades | 14 |
| 2.2.2.5. Limitações | 14 |
| 2.2.3. MAPEAMENTO DE PATOLOGIAS EM FACHADAS COM RECURSO A APLICAÇÕES MULTIMÉDIA | 15 |

| | |
|---|-----------|
| 2.2.3.1. Fundamentos..... | 15 |
| 2.2.3.2. Metodologia..... | 15 |
| 2.2.3.3. Forma de representação gráfica | 15 |
| 2.2.3.4. Potencialidades | 16 |
| 2.2.3.5. Limitações | 16 |
| 2.2.4. MAPEAMENTO DE PATOLOGIAS EM FACHADAS ATRAVÉS DA TERMOGRAFIA | 17 |
| 2.2.4.1. Fundamentos..... | 17 |
| 2.2.4.2. Metodologia | 17 |
| 2.2.4.3. Forma de representação gráfica | 18 |
| 2.2.4.4. Potencialidades | 19 |
| 2.2.4.5. Limitações | 19 |
| 2.2.5. MAPEAMENTO DE PATOLOGIAS EM FACHADAS COM RECURSO À FOTOGRAMETRIA DIGITAL..... | 20 |
| 2.2.5.1. Fundamentos..... | 20 |
| 2.2.5.2. Metodologia | 21 |
| 2.2.5.3. Forma de representação gráfica | 24 |
| 2.2.5.4. Potencialidades | 24 |
| 2.2.5.5. Limitações | 24 |
| 2.2.6. MAPEAMENTO DE PATOLOGIAS EM FACHADAS ATRAVÉS DA TÉCNICA DE VARRIMENTO LASER 3D | 25 |
| 2.2.6.1. Fundamentos..... | 25 |
| 2.2.6.2. Metodologia | 26 |
| 2.2.6.3. Forma de representação gráfica | 26 |
| 2.2.6.4. Potencialidades | 27 |
| 2.2.6.5. Limitações | 27 |
| 2.2.7. MAPEAMENTO DE PATOLOGIAS EM FACHADAS ATRAVÉS DA COMBINAÇÃO DAS TÉCNICAS DE FOTOGRAMETRIA E VARRIMENTO LASER 3D..... | 28 |
| 2.2.7.1. Fundamentos..... | 28 |
| 2.2.7.2. Metodologia | 29 |
| 2.2.7.3. Forma de representação gráfica | 29 |
| 2.2.7.4. Potencialidades | 30 |
| 2.2.7.5. Limitações | 30 |
| 2.3. AVALIAÇÃO DAS TÉCNICAS DE MAPEAMENTO DE PATOLOGIAS EM FACHADAS DE ACORDO COM CRITÉRIOS DE COMPARABILIDADE | 31 |
| 2.4. O RECURSO A TÉCNICAS DE MAPEAMENTO DE PATOLOGIAS EM FACHADAS NA PRÁTICA | 33 |

| | |
|---------------------------------------|----|
| 2.5. SÍNTESE DE CAPÍTULO | 37 |
|---------------------------------------|----|

3. TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO UTILIZADAS EM ENGENHARIA CIVIL..... 39

| | |
|-------------------------------------|----|
| 3.1. NOTA INTRODUTÓRIA | 39 |
|-------------------------------------|----|

| | |
|---|----|
| 3.2. TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO | 40 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| 3.2.1. TÉCNICAS DE PERCEÇÃO SENSORIAL | 40 |
|---|----|

| | |
|--|----|
| 3.2.1.1. Técnica de Detecção Acústica de Insetos Xilófagos | 40 |
|--|----|

| | |
|---|----|
| 3.2.1.2. Técnica de Inspeção Direta com Videoscópio | 41 |
|---|----|

| | |
|--------------------------------------|----|
| 3.2.2. TÉCNICA DE AÇÃO MECÂNICA..... | 41 |
|--------------------------------------|----|

| | |
|---|----|
| 3.2.2.1. Técnica de Ensaio com Dilatômetro..... | 41 |
|---|----|

| | |
|--|----|
| 3.2.2.2. Ensaio de Arrancamento por Tração – <i>Pull-off</i> | 41 |
|--|----|

| | |
|--|----|
| 3.2.2.3. Ensaio de Resistência ao Atrito | 42 |
|--|----|

| | |
|--|----|
| 3.2.2.4. Ensaio Simples com Macaco Plano (Determinação do Estado de Tensão)..... | 42 |
|--|----|

| | |
|--|----|
| 3.2.2.5. Ensaio Duplo com Macacos Planos (Determinação da Deformabilidade) | 42 |
|--|----|

| | |
|---|----|
| 3.2.2.6. Ensaio Esclerométrico – Esclerómetro de <i>Schmidt</i> e Pendular..... | 42 |
|---|----|

| | |
|--|----|
| 3.2.2.7. Técnica de Avaliação da Integridade de Elementos de Madeira – <i>Resistograph</i> | 43 |
|--|----|

| | |
|--|----|
| 3.2.2.8. Técnica de Avaliação da Resistência de Argamassa – Método de Arrancamento de Hélice | 43 |
|--|----|

| | |
|--|----|
| 3.2.2.9. Técnica de Extração e Ensaio de Carotes | 43 |
|--|----|

| | |
|--|----|
| 3.2.3. TÉCNICAS DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS ELÁSTICAS | 43 |
|--|----|

| | |
|---|----|
| 3.2.3.1. Ensaio de Integridade de Estacas de Betão – Método Sónico..... | 44 |
|---|----|

| | |
|--|----|
| 3.2.3.2. Ensaio de Tomografia Sónica na Alvenaria para Identificação de Heterogeneidades e Deficiências..... | 44 |
|--|----|

| | |
|------------------------------------|----|
| 3.2.3.3. Ensaio de Ultrassons..... | 44 |
|------------------------------------|----|

| | |
|--|----|
| 3.2.4. TÉCNICAS DE DETECÇÃO E ANÁLISE DE VIBRAÇÕES | 44 |
|--|----|

| | |
|--|----|
| 3.2.4.1. Análise e Monitorização de Vibrações em Estruturas..... | 44 |
|--|----|

| | |
|--|----|
| 3.2.4.2. Monitorização das Vibrações por Meio de Microssismógrafo..... | 45 |
|--|----|

| | |
|---|----|
| 3.2.5. TÉCNICAS DE REAÇÕES QUÍMICAS E ELETROQUÍMICAS..... | 45 |
|---|----|

| | |
|--|----|
| 3.2.5.1. Técnica da Resistência de Polarização (Taxa de Corrosão em Armaduras) | 45 |
|--|----|

| | |
|--|----|
| 3.2.5.2. Técnica de Avaliação da Profundidade de Carbonatação – Indicador de Fenolftaleína . | 45 |
|--|----|

| | |
|--|----|
| 3.2.5.3. Técnica de Medição dos Potenciais Elétricos (Detecção da Corrosão Ativa em Armaduras) | 46 |
|--|----|

| | |
|--|----|
| 3.2.5.4. Técnica de Detecção do Teor de Sais – Kit de Campo e Fitas Colorimétricas | 46 |
|--|----|

| | |
|--|-----------|
| 3.2.6. TÉCNICAS DE PROPAGAÇÃO DE RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA..... | 46 |
| 3.2.6.1. Prospeção Geofísica por Tecnologia de Radar | 46 |
| 3.2.7. TÉCNICAS DE INSPEÇÃO HIDRODINÂMICA NOS MATERIAIS E ESTRUTURAS | 47 |
| 3.2.7.1. Ensaio para Determinação da Absorção de Água por Capilaridade | 47 |
| 3.2.7.2. Ensaio de Absorção de Água Sob Baixa Pressão – Tubo de <i>Karsten</i> | 47 |
| 3.2.7.3. Ensaio de Permeabilidade ao Vapor de Água | 48 |
| 3.2.8. TÉCNICAS DE EFEITOS ELÉTRICOS E MAGNÉTICOS..... | 48 |
| 3.2.8.1. Ensaio Termográfico | 48 |
| 3.2.8.2. Técnica Para Detecção de Armaduras e Avaliação do Diâmetro e Recobrimento | 48 |
| 3.2.9. TÉCNICAS DE MONITORIZAÇÃO | 49 |
| 3.2.9.1. Técnicas de Monitorização de Fissuras e Fendas – Fissurómetro..... | 49 |
| 3.2.10. TÉCNICAS DE INSPEÇÃO HIGROTÉRMICA..... | 49 |
| 3.2.10.1. Técnicas de Registo de Condições Higrotérmica | 49 |
| 3.2.10.2. Ensaio de Condutibilidade Térmica..... | 50 |
| 3.2.10.3. Ensaio de Pressurização - <i>Blower Door</i> | 50 |
| 3.2.10.4. Ensaio de Variação Dimensional com a Humidade Relativa | 50 |
| 3.3. AVALIAÇÃO DAS TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO UTILIZADAS EM ENGENHARIA CIVIL FACE À SUA APLICABILIDADE NA ANÁLISE DAS PATOLOGIAS EM FACHADAS | 50 |

| | |
|--|-----------|
| 4. DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA DE DIAGNÓSTICO E MAPEAMENTO DE PATOLOGIAS EM FACHADAS - TDM | 53 |
| 4.1. OBJETIVOS | 53 |
| 4.2. MAPEAMENTO DAS PATOLOGIAS | 57 |
| 4.2.1. MAPEAMENTO DAS PATOLOGIAS VISÍVEIS NA FACE EXTERIOR DA ENVOLVENTE OPACA, ENVOLVENTE TRANSPARENTE (CAIXILHOS E VIDROS) E ELEMENTOS SINGULARES (CORNIJAS, PEITORIS, JUNTAS DE DILATAÇÃO/CUNHAIS, SALIÊNCIAS E CORPOS EM CONSOLA/BALANÇO)..... | 58 |
| 4.2.1.1. Estruturação dos procedimentos..... | 58 |
| 4.2.1.2. Planeamento | 59 |
| 4.2.1.3. Trabalho de campo..... | 63 |
| 4.2.1.4. Obtenção da fotografia panorâmica de alta resolução (<i>Gigapixel</i>) e registo das patologias - Mapeamento | 64 |
| 4.2.2. MAPEAMENTO DE PATOLOGIAS VISÍVEIS NA FACE INTERIOR DA ENVOLVENTE OPACA | 66 |
| 4.2.2.1. Estruturação dos procedimentos..... | 66 |
| 4.2.2.2. Planeamento | 67 |

| | |
|--|---------------|
| 4.2.2.3. Trabalho de campo..... | 68 |
| 4.2.2.4. Obtenção da fotografia panorâmica de alta resolução (<i>Gigapixel</i>) e registo das patologias - Mapeamento | 1 |
| 4.2.3. MAPEAMENTO DE PATOLOGIAS NÃO VISÍVEIS NA ENVOLVENTE OPACA (ELEMENTOS OCULTOS) E ESTRUTURA (ESTRUTURA DAS PAREDES) | 1 |
| 4.2.3.1. Estruturação dos procedimentos..... | 1 |
| 4.2.3.2. Planeamento | 1 |
| 4.2.3.3. Trabalho de campo..... | 1 |
| 4.2.3.4. Obtenção das imagens termográficas, resultados obtidos com o software de cálculo higratérmico e registo gráfico das patologias e elementos estruturais - Mapeamento | 69 |
| 4.2.3. MAPEAMENTO DE PATOLOGIAS NÃO VISÍVEIS NA ENVOLVENTE OPACA (ELEMENTOS OCULTOS) E ESTRUTURA (ESTRUTURA DAS PAREDES) | 70 |
| 4.2.3.1. Estruturação dos procedimentos..... | 70 |
| 4.2.3.2. Planeamento | 71 |
| 4.2.3.3. Trabalho de campo..... | 73 |
| 4.2.3.4. Obtenção das imagens termográficas, resultados obtidos com o software de cálculo higratérmico e registo gráfico das patologias e elementos estruturais - Mapeamento | 74 |
| 4.3. CORRELAÇÃO DAS PATOLOGIAS | 75 |
| 4.3.1. ANÁLISE FUNDAMENTADA NO REGISTO GRÁFICO OBTIDO ATRAVÉS DO MAPEAMENTO – MAPAS DE CORRELAÇÃO | 75 |
| 4.4. DIAGNÓSTICO DAS PATOLOGIAS | 80 |
| 4.4.1. APLICAÇÃO DAS TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO E SONDAGENS E ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS | 80 |
| 4.4.2. ELABORAÇÃO DO ESTUDO DE DIAGNÓSTICO | 81 |
| 4.5. SÍNTESE DE CAPÍTULO..... | 82 |
| 5. CASO DE ESTUDO | 85 |
| 5.1. NOTA INTRODUTÓRIA | 85 |
| 5.2. PESQUISA HISTÓRICA | 85 |
| 5.3. RECOLHA E ANÁLISE DA INFORMAÇÃO ESCRITA E DESENHADA DISPONÍVEL..... | 85 |
| 5.4. MAPEAMENTO DAS PATOLOGIAS | 86 |
| 5.4.1. MAPEAMENTO DAS PATOLOGIAS VISÍVEIS NA FACE EXTERIOR DA ENVOLVENTE OPACA, ENVOLVENTE TRANSPARENTE (CAIXILHOS E VIDROS) E ELEMENTOS SINGULARES (CORNIJAS, PEITORIS, JUNTAS DE DILATAÇÃO/CUNHAIS, SALIÊNCIAS E CORPOS EM CONSOLA/BALANÇO)..... | 86 |
| 5.4.1.1. Planeamento | 86 |
| 5.4.1.2. Trabalho de campo..... | 88 |

| | |
|--|---------|
| 5.4.1.3. Obtenção da fotografia panorâmica de alta resolução (<i>Gigapixel</i>) e registo das patologias – Mapeamento | 89 |
| 5.4.2. MAPEAMENTO DE PATOLOGIAS VISÍVEIS NA FACE INTERIOR DA ENVOLVENTE OPACA | 90 |
| 5.4.2.1. Planeamento | 90 |
| 5.4.2.2. Trabalho de campo..... | 91 |
| 5.4.2.3. Obtenção da fotografia panorâmica de alta resolução (<i>Gigapixel</i>) e registo das patologias – Mapeamento | 91 |
| 5.4.3. MAPEAMENTO DE PATOLOGIAS NÃO VISÍVEIS NA ENVOLVENTE OPACA (ELEMENTOS OCULTOS) E ESTRUTURA (ESTRUTURA DAS PAREDES) | 91 |
| 5.4.3.1. Planeamento | 91 |
| 5.4.3.2. Trabalho de campo..... | 92 |
| 5.4.3.3. Obtenção das imagens termográficas, resultados obtidos com o software de cálculo higrotérmico e registo gráfico das patologias - Mapeamento | 93 |
| 5.5. CORRELAÇÃO DAS PATOLOGIAS | 95 |
| 5.5.1. ANÁLISE FUNDAMENTADA NO REGISTO GRÁFICO OBTIDO ATRAVÉS DO MAPEAMENTO – MAPAS DE CORRELAÇÃO..... | 95 |
| 5.6. DIAGNÓSTICO | 96 |
| 5.6.1. APLICAÇÃO DAS TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO E SONDAGENS E ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS | 96 |
| 5.6.2. ELABORAÇÃO DO ESTUDO DE DIAGNÓSTICO | 96 |
| 5.7. SÍNTESE DE CAPÍTULO | 97 |
| 6. CONCLUSÃO | 101 |
| 6.1. CONCLUSÕES GERAIS | 101 |
| 6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS | 102 |
| BIBLIOGRAFIA | 103 |

ANEXOS

ANEXO A.1 – DESENHOS DO MAPEAMENTO

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Fig.1.1 – Esquema com os objetivos estruturantes do trabalho | 2 |
| Fig.2.1 – Edifício recente na Baixa do Porto, apresentado um grau moderado de degradação | 5 |
| Fig. 2.2 – Fachada de um edifício na zona histórica do Porto | 6 |
| Fig. 2.3 – Identificação dos elementos a inspecionar através da observação visual direta | 9 |
| Fig. 2.4 – Identificação dos elementos a inspecionar através da observação visual direta, pelo IST ... | 10 |
| Fig. 2.5 – Registo de patologias numa fachada através de fotografia | 12 |
| Fig. 2.6 – Matriz de elementos geométricos e arquitetónicos para uma fachada, por Rui Calejo | 12 |
| Fig.2.7 – Mapeamento de patologias na fachada sul do edifício de BP | 13 |
| Fig.2.8 – Exemplo de um quadro resumo resultante do mapeamento com recurso ao levantamento fotográfico | 13 |
| Fig. 2.9 – Imagem do registo das patologias em alçados 2D e visualização 3D | 16 |
| Fig. 2.10 – Termograma com visualização de isolamento insuficiente | 18 |
| Fig. 2.11 – Termograma com visualização de fugas de ar numa porta | 18 |
| Fig. 2.12 – Influência da incidência do sol na fachada (meio dia e entardecer) | 19 |
| Fig. 2.13 – Planeamento do posicionamento das tomadas das fotografias | 22 |
| Fig. 2.14 – Exemplo de uma imagem fotogramétrica (sem o nível de definição pretendido) | 23 |
| Fig. 2.15 – Retificação do efeito da perspetiva na imagem recolhida | 23 |
| Fig. 2.16 – Mapeamento de patologias no desenho do alçado | 24 |
| Fig. 2.17 – Imagem de um <i>scanner</i> Leica <i>ScanStation P-Series</i> | 26 |
| Fig. 2.18 – Nuvem de pontos orientados e com refletância | 27 |
| Fig. 2.19 – Imagem obtida através de um <i>scanner ScanStation</i> Leica após processamento | 27 |
| Fig. 2.20 – Nuvem de pontos do paramento da barragem do Cabril, com 1 a 2 cm de precisão nas coordenadas 3D com uma resolução de 1 decímetro cúbico | 29 |
| Fig. 2.21 – Orto-imagem de alta resolução do paramento jusante da barragem do Cabril, com uma resolução de 3mm | 30 |
| Fig. 2.22 – Fluxograma descritivo do problema | 37 |
| Fig.3.1 – Ensaio com videoscópio | 41 |
| Fig.3.2 – Ensaio de choque de esfera e penetração controlada | 42 |
| Fig.3.3 – Ensaio esclerométrico num elemento de betão | 43 |
| Fig.3.4 – Determinação da profundidade de carbonatação | 45 |
| Fig.3.5 – Ensaio com Tubo de <i>Karsten</i> | 47 |
| Fig.3.6 – Fissurómetro | 49 |

| | |
|--|----|
| Fig.4.1 – Identificação do elemento e componentes a analisar | 54 |
| Fig.4.2 – Representação esquemática da fachada..... | 58 |
| Fig.4.3 – Câmara fotográfica digital Cannon EOS 80D | 60 |
| Fig.4.4 – Objetiva 70-300mm Sigma..... | 60 |
| Fig.4.5 – Plataforma robótica GigaPan EPIC 100..... | 60 |
| Fig.4.6 – Tripé | 61 |
| Fig.4.7 – Estudo da localização e posicionamento dos equipamentos com recurso ao <i>Google Earth</i> | 62 |
| Fig.4.8 – Ordem de captura dos fotogramas individuais | 64 |
| Fig.4.9 – Exemplo de um detalhe de uma imagem panorâmica onde se evidencia um desalinhamento | 65 |
| Fig.4.10 – Imagem sem retificação | 65 |
| Fig.4.11 – Imagem retificada com o software <i>Autopano Giga</i> | 65 |
| Fig.4.12 – Exemplo de um mapeamento da fachada do Palácio Itamaraty, Brasília | 66 |
| Fig.4.13 – Estudo da localização e posicionamento dos equipamentos sobre a planta do edifício..... | 68 |
| Fig.4.14 – Simetria do alçado interior para sobreposição com a fotografia panorâmica | 70 |
| Fig.4.15 – Exemplo de deteção de infiltração não visível | 71 |
| Fig.4.16 – Exemplo de uma câmara termográfica | 72 |
| Fig.4.17 – Exemplo de um termo higrómetro | 72 |
| Fig.4.18 – Exemplo de um <i>datalogger</i> | 72 |
| Fig.4.19 – Exemplo de análise de fachada com diversas patologias | 74 |
| Fig.4.20 – Exemplo de representação gráfica em Autocad – fotografia panorâmica de alta resolução | 76 |
| Fig.4.21 – Exemplo de representação gráfica em Autocad – desenho do alçado exterior sobre a fotografia panorâmica..... | 76 |
| Fig.4.22 – Exemplo de representação gráfica em Autocad – mapeamento das patologias visíveis na face exterior da fachada..... | 77 |
| Fig.4.23 – Exemplo de representação gráfica em Autocad – mapeamento das patologias visíveis na face interior da fachada..... | 77 |
| Fig.4.24 – Exemplo de representação gráfica em Autocad – mapeamento das patologias não visíveis | 78 |
| Fig.4.25 – Exemplo de representação gráfica em Autocad – mapa de correlações 1 | 78 |
| Fig.4.26 – Exemplo de representação gráfica em Autocad – mapa de correlações 2 | 79 |
| Fig.4.27 – Exemplo de representação gráfica em Autocad – mapa de correlações 3 | 79 |
| Fig.4.28 – Esquema da metodologia proposta | 80 |
| Fig.4.29 – Organigrama da metodologia TDM..... | 83 |

| | |
|--|----|
| Fig.5.1 – Estudo da localização e posicionamento dos equipamentos com recurso ao <i>Google Earth</i> | 87 |
| Fig.5.2 – Fotografia obtida e fotografia retificada com o <i>software Autopano Giga</i> | 89 |
| Fig.5.3 – Estudo do posicionamento dos equipamentos sobre as plantas do edifício | 90 |
| Fig.5.4 – Identificação de pontes térmicas com recurso à termografia de infravermelhos | 93 |
| Fig.5.5 – Tecnologia das fachadas | 94 |
| Fig.5.6 – Características das camadas que compõem o elemento | 94 |
| Fig.5.7 – Características de cada intervalo de tempo | 94 |
| Fig.5.8 – Análise de condensações internas, nos quatro intervalos de tempo definidos, através do Diagrama de <i>Glaser</i> | 95 |
| Fig.5.9 – Enquadramento da TDM | 98 |

ÍNDICE DE QUADROS (OU TABELAS)

| | |
|--|----|
| Quadro 2.1 - Características da técnica de mapeamento com recurso à observação visual direta | 10 |
| Quadro 2.2 - Identificação de potencialidades e limitações da observação visual direta | 11 |
| Quadro 2.3 - Características da técnica de mapeamento com recurso ao registo fotográfico | 14 |
| Quadro 2.4 - Identificação de potencialidades e limitações do levantamento fotográfico | 15 |
| Quadro 2.5 - Características da técnica de mapeamento com recurso a aplicações multimédia | 16 |
| Quadro 2.6 - Identificação de potencialidades e limitações das Aplicações Multimédia | 17 |
| Quadro 2.7 - Características da técnica de mapeamento com recurso à Termografia | 20 |
| Quadro 2.8 - Identificação de potencialidades e limitações da Termografia | 20 |
| Quadro 2.9 - Características da técnica de mapeamento com recurso à Fotogrametria | 25 |
| Quadro 2.10 - Identificação de potencialidades e limitações da Fotogrametria | 25 |
| Quadro 2.11 - Características da técnica de mapeamento com recurso ao varrimento laser 3D | 28 |
| Quadro 2.12 - Identificação de potencialidades e limitações do varrimento laser 3D | 28 |
| Quadro 2.13 - Características da combinação das técnicas de fotogrametria e varrimento laser 3D .. | 30 |
| Quadro 2.14 - Identificação de potencialidades e limitações da fotogrametria associada ao varrimento laser 3D | 31 |
| Quadro 2.15 - Critérios de comparabilidade das técnicas de mapeamento de patologias em fachadas | 31 |
| Quadro 2.16 - Empresas do setor da fotogrametria, varrimento laser 3D, levantamentos arquitetónicos e inspeção de edifícios | 33 |
| Quadro 3.1 - Divisão técnicas de diagnóstico a respetivos códigos | 39 |
| Quadro 3.2 - Aplicabilidade das técnicas de diagnóstico a fachadas | 51 |
| Quadro 4.1 - Códigos de patologias e <i>Layers</i> | 55 |
| Quadro 4.2 - Equipamentos e <i>softwares</i> para o mapeamento das patologias visíveis na face exterior da envolvente opaca, envolvente transparente (caixilhos e vidros) e elementos singulares | 62 |
| Quadro 4.3 - Equipamentos e <i>softwares</i> para o mapeamento das patologias visíveis na face interior da envolvente opaca | 67 |
| Quadro 4.4 - Equipamentos e <i>softwares</i> para o mapeamento das patologias não visíveis na envolvente opaca (elementos ocultos) e na estrutura (estrutura das paredes) | 72 |
| Quadro 5.1 - Caracterização construtiva e funcional | 86 |
| Quadro 5.2 - Equipamentos e <i>softwares</i> para o mapeamento das patologias visíveis na face exterior da envolvente opaca, envolvente transparente (caixilhos e vidros) e elementos singulares | 86 |
| Quadro 5.3 - Equipamentos e <i>softwares</i> para o mapeamento das patologias visíveis na face interior da envolvente opaca | 90 |

| | |
|--|----|
| Quadro 5.4 - Equipamentos e <i>softwares</i> para o mapeamento das patologias não visíveis na envolvente opaca (elementos ocultos) e estrutura (estrutura das paredes) | 92 |
| Quadro 5.5 - Técnicas de ensaio e sondagens a realizar em função do componente do elemento | 96 |
| Quadro 5.6 - Quantificação da área afetada pelas patologias | 97 |

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

AQC - Agence Qualité Construction

NCREP – Núcleo de Conservação e Reabilitação de Edifícios e Património

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

DEC - Departamento de Engenharia Civil

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

ASPRS – American Society of Photogrammetry and Remote Sensing

ISPRM - International Society of Photogrammetry and Remote Sensing

GPS – Global Positioning System

USB – Universal Serial Bus

2D – Objetos e entidades com duas dimensões

3D – Objetos e entidades com três dimensões

PDF – Portable Document Format

LiDAR – Light Detection And Raging

FAUTL – Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa

HR – Humidade Relativa

LFC – Laboratório da Física das Construções

K - Coeficiente de transmissão térmica $[W/m^2K]$

BIM - Building Information Modeling

LCD - Liquid crystal display

BMP - Windows Bitmap

TDM – Técnicas de Diagnóstico e Mapeamento de Patologias em Fachadas

1

INTRODUÇÃO

1.1. NOTA INTRODUTÓRIA

O parque edificado nacional é composto por uma vasta infraestrutura de características heterogéneas quanto à época de construção e tecnologias construtivas empregues. Parte desse edificado corresponde ao património monumental e histórico, sendo o restante constituído por edifícios construídos com tecnologias mais recentes, maioritariamente em betão armado, datados a partir dos anos 70 do séc. XX.

Atendendo à importância cultural que os edifícios históricos e monumentais representam, e face aos sinais de deterioração que os edifícios mais recentes evidenciam, as intervenções necessárias para a sua conservação devem basear-se em informação fidedigna e rigorosa, alcançada através de um estudo de diagnóstico minucioso. [1]

Na ausência de um método fidedigno e rigoroso, a reabilitação evidencia falhas, conforme argumenta Vítor Córias: “No entanto, as intervenções de reabilitação, mesmo as mais simples, ficam muitas vezes aquém das expectativas em termos de eficácia e durabilidade.”[2]

Tendo em conta a relevância das fachadas dos edifícios e face à importância assumida pela função da relação de transição entre o meio exterior e o interior da edificação, as patologias que surgem nestes elementos (em particular no seu sistema de revestimento), produzem um forte impacto negativo, quer ao nível estético, quer ao nível da sua funcionalidade. Estas manifestações podem originar elevados prejuízos para as empresas construtoras, e para a segurança e conforto dos seus utilizadores.

Na atualidade, os métodos utilizados para a inspeção de danos nas faces externas das fachadas são baseados em técnicas realizadas *in situ*, através da recolha de informações por meio de inspeções diretas sobre as fachadas, em particular através da inspeção visual direta, e com recurso a levantamentos fotográficos de cada anomalia. Este processo implica um elevado dispêndio de tempo, podendo, em simultâneo, conduzir a acidentes de trabalho. As tradicionais fichas de patologias de apoio aos técnicos, manifestam-se claramente insuficientes na identificação e na representação gráfica das anomalias das fachadas.

Reconhecendo-se a complexidade da acessibilidade a determinados locais dos edifícios, nomeadamente os edifícios de maior dimensão (obrigando, muitas vezes, à necessidade de montagem de estruturas provisórias – andaimes), a dificuldade da inspeção de zonas degradadas é, mormente, potenciada pelos eventuais fatores ambientais.

É, neste contexto, que surge a motivação do presente trabalho, assente no desenvolvimento de uma metodologia de diagnóstico e mapeamento de patologias em fachadas – TDM -, visando facilitar o

mapeamento das patologias existentes nas fachadas, contribuindo para a elaboração de diagnósticos rigorosos, e, simultaneamente, reduzindo os riscos de acidente para os técnicos envolvidos.

Ambiciona-se com a referida técnica, dar resposta às seguintes questões:

- Como mapear as patologias das fachadas dos edifícios?
- As técnicas de mapeamento tradicionais, baseadas sobretudo na observação visual direta, são suficientes para a obtenção de um diagnóstico rigoroso?
- A avaliação das patologias das fachadas apenas na envolvente exterior é suficiente para compreender a sua origem, bem como eventuais manifestações afins?
- Como averiguar a possível relação causa-efeito entre as patologias?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GERAL DO TRABALHO

O objetivo geral deste trabalho visa, então, a identificação, o mapeamento e o registo gráfico de patologias que ocorrem em fachadas de edifícios, bem como o seu diagnóstico, com o recurso a ferramentas de mapeamento e a técnicas de diagnóstico de patologias, que proporcionem dados relevantes para a elaboração do respetivo projeto de reabilitação, contribuindo para concretização de um documento objetivo baseado em três ações:

- i. Mapear as patologias existentes;
- ii. Correlacionar as patologias;
- iii. Inspeccionar e diagnosticar as anomalias.

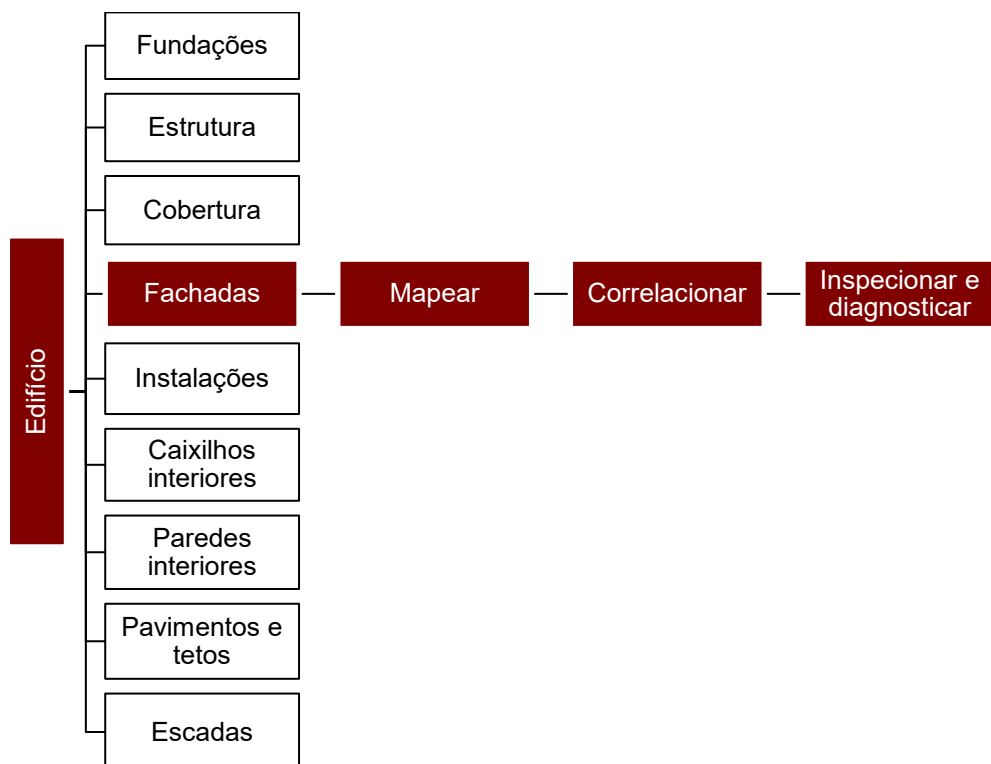


Fig.1.1 – Esquema com os objetivos estruturantes do trabalho

Simultaneamente, os procedimentos que serão apresentados podem também representar um meio auxiliar com grande potencial para:

- i. Realização de levantamentos arquitetónicos dos edifícios (quando necessário);
- ii. Adoção medidas corretivas menos intrusivas;
- iii. Definição e planeamento atempado das intervenções;
- iv. Monitorização do comportamento dessas intervenções;
- v. Controlo da qualidade, quer durante a fase da construção, quer no seu comportamento em serviço, com o objetivo de garantir a conformidade com as especificações previstas em projeto e/ou em particular as que visam assegurar a durabilidade desejada.

Os objetivos descritos serão alcançados através do desenvolvimento de uma metodologia de mapeamento e diagnóstico de patologias em fachadas, com recurso a ferramentas de fotogrametria digital terrestre 2D (que numa versão potenciada permite a obtenção remota de imagens panorâmicas de alta resolução – *Gigapixel* -, geradas por mosaicos de fotografias individuais de elevada precisão), fotografia digital simples, termografia de infravermelhos e modelos de simulação higrótérmica.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Conhecer profundamente o historial das intervenções realizadas;
- Identificar, mapear e quantificar as patologias existentes na face exterior das fachadas dos edifícios, com recurso à visualização em escala real de imagens panorâmicas de alta resolução;
- Identificar, mapear e quantificar as patologias existentes na face interior das fachadas dos edifícios, com recurso à visualização em escala real de imagens panorâmicas/simples de alta resolução;
- Identificar, mapear e quantificar as patologias no interior das fachadas (patologias não visíveis), recorrendo à termografia de infravermelhos e a modelos de simulação higrótérmica;
- Correlacionar as patologias mapeadas;
- Aplicar técnicas de diagnóstico em função da adequabilidade de cada técnica ao componente a analisar, bem como a realização de eventuais sondagens;

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

A presente dissertação encontra-se dividida em seis capítulos:

- Capítulo 1 – Introdução: é realizada uma breve reflexão sobre o tema da tese, identificando-se a motivação e pertinência do mesmo, definindo-se os objetivos gerais e específicos que se ambicionam alcançar com a metodologia desenvolvida e a estruturação do trabalho;
- Capítulo 2 – Metodologia de Reabilitação de Edifícios: é realizada uma breve reflexão sobre a reabilitação de edifícios em Portugal, reconhecendo-se a importância das fachadas dos edifícios, tendo em conta o seu desempenho e impacto visual. Abordam-se as metodologias para a realização do projeto de reabilitação, enquadrando o tema da tese na listagem de procedimentos apresentadas. São descritas as técnicas de mapeamento existentes para a recolha das anomalias observáveis em fachadas de edifícios, descrevendo os seus fundamentos, metodologia, forma de representação, potencialidade e limitações, resumindo-se num quadro-síntese as suas principais características, e procedendo-se a uma análise crítica em função de determinados parâmetros de avaliação. Conclui-se este capítulo com a identificação das empresas da área das

patologias e dos levantamentos arquitetónicos, analisando o trabalho desenvolvido pelas mesmas, permitindo avaliar o carácter inovador da metodologia a ser revelada.

- Capítulo 3 – Técnicas de Diagnóstico de Patologias Utilizadas em Engenharia Civil: tenciona-se neste capítulo abordar as técnicas de diagnóstico de patologias utilizadas em Engenharia Civil, cujos métodos de inspeção e diagnóstico possam ser aplicados na Reabilitação de edifícios. De forma sintetizada, identifica-se a aplicabilidade de cada uma das técnicas, de acordo com os componentes do elemento fachada.
- Capítulo 4 – Desenvolvimento da Metodologia de Diagnóstico e Mapeamento de Patologias em Fachadas: é apresentada a metodologia que se ambiciona desenvolver para mapear, correlacionar, inspecionar e diagnosticar as patologias das fachadas, descrevendo sucintamente todos os seus procedimentos.
- Capítulo 5 – Caso de estudo: aplica-se uma abordagem metodológica a um caso de estudo, a Técnica de Diagnóstico e Mapeamento de patologias em fachadas – TDM -, desenvolvida.
- Capítulo 6 – Conclusões: expressam-se as conclusões finais do trabalho, respondendo às questões inicialmente colocadas. Identificam-se as potencialidades e limitações da metodologia desenvolvida, apresentando-se propostas ou reflexões, visando o desenvolvimento futuro da metodologia desenvolvida.

2

TÉCNICAS DE MAPEAMENTO DE PATOLOGIAS EM FACHADAS

2.1. ENQUADRAMENTO GERAL

2.1.1. BREVE REFLEXÃO SOBRE A REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS EM PORTUGAL

O panorama da construção civil em Portugal tem sofrido alterações profundas. Após ter-se assistido à proliferação da construção de edifícios novos nas últimas décadas, deparamo-nos presentemente com um parque edificado degradado, tanto de edifícios antigos, como dos mais recentes (construídos a partir dos anos 70 do século XX). [3]

Os erros de gestão urbanística e a política financeira, contribuíram para o fomento de uma construção sem precedentes, sem que fossem tidas em conta as boas práticas da construção civil, nomeadamente no que tange à qualidade dos projetos, à falta de acompanhamento do processo construtivo por parte dos engenheiros e à utilização de materiais de qualidade sofrível. [4]

Se a degradação dos edifícios antigos era evidente, acresce atualmente a deterioração dos edifícios oriundos das décadas posteriores até à atualidade, denotando já alguma necessidade de intervenção, que vem sendo pouco expressiva.



Fig.2.1 – Edifício recente na Baixa do Porto, apresentado um grau moderado de degradação (arquivo pessoal)

Conforme sugere Vasco Freitas [3], a orientação da construção para um mercado de construção nova, prevalecente nas últimas décadas, resultou que a capacidade tecnológica e o conhecimento, indispensáveis à reabilitação dos edifícios antigos, fossem perdidos. É neste enquadramento que urge desenvolver metodologias associadas à reabilitação de edifícios baseadas na capacidade tecnológica, concebendo uma metodologia concreta, tipificada, apoiada no conhecimento extraído da física das construções.

De acordo com João Appleton, há inequivocamente a necessidade de realização de um diagnóstico das patologias identificadas num edifício, procedendo ao registo e identificação das mesmas (fendilhações, deformações, desagregações, empolamentos, etc.), recorrendo eventualmente a meios complementares de diagnóstico, com o objetivo de apuramento das causas diretas e indiretas das anomalias. Com esta abordagem, aponta Appleton, alcança-se o conhecimento profundo do edifício. No entanto, o autor conclui que este processo tem sido frequentemente ignorado, constituindo uma das principais causas da ineficácia das intervenções de reabilitação realizadas ultimamente. [1]

Claramente que a intervenção na área da reabilitação de edifícios apresenta dificuldades no seu diagnóstico e nas soluções adotadas, exigindo grande capacidade técnica por parte do autor do projeto de reabilitação, implicando um domínio sólido ao nível da física das construções e um percurso profissional relevante na área.

Destaca-se, ainda, que a abordagem nesta área não pode desprezar o valor cultural dos edifícios enquanto património monumental, sendo exigida uma intervenção que preserve as técnicas construtivas tradicionais, ao mesmo tempo que o caráter da intervenção deverá ser mínimo, preservando a identidade do edifício e mantendo a utilização de materiais compatíveis com os pré-existentes. Já no que diz respeito aos edifícios recentes, salvo os edifícios com características arquitetónicas específicas, a abordagem da intervenção não é tão limitativa.

2.1.2. A IMPORTÂNCIA DAS FACHADAS NOS EDIFÍCIOS

A transição entre o exterior e o interior de um edifício é efetuada através das fachadas, as quais constituem a interface entre o ambiente externo e interno, ou seja, ambiente desprotegido e protegido, respetivamente. Responsáveis por comportamentos estruturais e pela salvaguarda das condições atmosféricas exteriores face ao conforto interior dos ocupantes, para além da função estética e arquitetónica, as fachadas funcionam como uma “pele”, protegendo das agressões externas – a água, as variações de temperatura, o gelo/degelo, a presença de sais solúveis, a poluição ou a bio deterioração, devendo proporcionar um bom desempenho higrotérmico, acústico em durabilidade. [5]

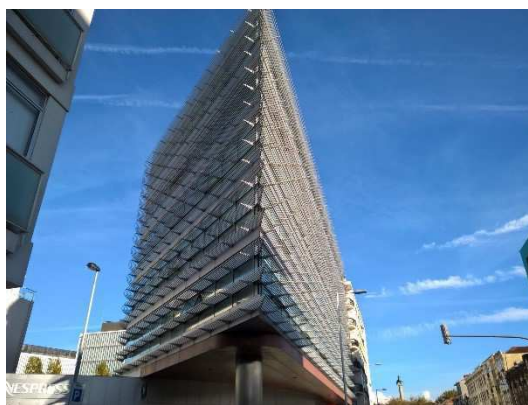


Fig.2.2 – Fachada de um edifício no Porto (arquivo pessoal)

Os revestimentos externos das fachadas, no que concerne à sua variabilidade e quantidade, apresentam ciclos de vida útil diferentes, sobretudo quando comparados com o ciclo de vida da estrutura.

Assentes fundamentalmente no requisito de durabilidade, as edificações e as suas fachadas deverão ser capazes de manter a sua capacidade funcional durante o período de vida útil previsto em projeto, sustentadas por intervenções periódicas de manutenção.

As variações térmicas, a ação do vento, da radiação solar, da chuva e da humidade, as solicitações estruturais oriundas dos carregamentos estáticos e dinâmicos, as humidades ascensionais, entre outros fatores, exigem uma análise exaustiva para a obtenção de um diagnóstico adequado. Desta forma, a envolvente vertical dos edifícios deverá apresentar requisitos de desempenho, tais como resistência mecânica, estanquidade à água, segurança em caso de incêndio ou outras situações excecionais, satisfazer as condições higrotérmicas e acústicas requeridas pelo utilizador, não descurando o desempenho estético.

Na prática têm-se verificado custos significativos nas ações de reabilitação das anomalias nas fachadas, o que acentua a importância de um mapeamento e diagnóstico preciso destes elementos.

Neste sentido, aponta-se a necessidade de desenvolver processos expeditos, simples, funcionais e sistémicos capazes de identificar, localizar e dimensionar as manifestações patológicas que ocorrerão ao longo da vida útil das fachadas, contribuindo para o cumprimento do seu desempenho em serviço e da capacidade que cada elemento do subsistema fachada tem para responder às funções para as quais foi concebido.

2.1.3. METODOLOGIA PARA A ELABORAÇÃO DO PROJETO DE REABILITAÇÃO

A importância do estudo da patologia na construção assume particular relevo, na medida em que, para além de avaliar os danos provocados nos elementos construtivos, avalia inclusive as suas causas prováveis e as possíveis ações corretivas.

A literatura evidencia consenso no que concerne à elaboração do projeto de reabilitação, de onde se destaca Vasco Freitas, que estrutura o projeto de reabilitação em seis fases: [3]

- 1ª Fase – Elaboração de um estudo de diagnóstico – proposta de soluções e estimativa de custos unitários;
- 2ª Fase – Definição por parte do Dono de Obra da estratégia de intervenção;
- 3ª Fase – Elaboração do projeto de execução;
- 4ª Fase – Consulta de empresas de construção e análise técnico-económica das propostas;
- 5ª Fase – Contratação da equipa de fiscalização e adjudicação da obra;
- 6ª Fase – Execução da obra.

À semelhança do modelo preconizado pelo referido autor, Luis Villegas Cabredo [6], subscreve uma abordagem à patologia que se segmenta em três atos, configurando o modelo da seguinte forma:

- i. Existência de um problema;
- ii. Investigação do problema – Patologia e diagnóstico;
- iii. Proposta de reabilitação, caso seja viável.

Ainda segundo o mesmo autor, das três etapas acima enumeradas, há uma que se destaca pela sua complexidade, exigência de conhecimentos técnicos e “*savoir-faire*” - a investigação do problema, que habitualmente segue a ordem de procedimentos abaixo listada:

- i. Pesquisa histórica (no caso dos edifícios antigos ou classificados);
- ii. Caracterização da solução construtiva existente – peças desenhadas, memória descritiva, ou no caso da ausência de elementos, caracterização esquemática, obtida através da recolha e análise da informação escrita e desenhada disponível;
- iii. Registo das intervenções efetuadas até à data;
- iv. Registo fotográfico do edifício, com objetivo de documentar a história do edifício, bem como o registo das patologias verificadas para posterior mapeamento;

- v. Inspeção visual do edifício, como complemento do registo fotográfico associado ao mapeamento das patologias;
- vi. Implementação de um plano de monitorização da estrutura do edifício, que permita quantificar a existência de movimentos ativos na estrutura;
- vii. Diagnóstico, recorrendo a técnicas de diagnóstico, quer *in situ*, quer em laboratório.

O tema abordado na presente dissertação – Técnicas de Diagnóstico e Mapeamento de Patologias em Fachadas – enquadra-se na 1ª fase do Projeto de Reabilitação sugerido por Vasco Freitas, desenvolvida em seis momentos de atuação:

- i. Pesquisa histórica, permitindo identificar a funcionalidade atual e passada do edifício – data de construção, projetos iniciais (quando disponíveis), historial de eventuais intervenções, tecnologias dos materiais e dos processos construtivos, obtendo uma interpretação do comportamento do edifício;
- ii. Recolha da informação escrita e desenhada disponível. Nos edifícios antigos, usualmente estes elementos não existem, mesmo junto das entidades licenciadoras. Nestes casos, dever-se-á proceder ao levantamento arquitetónico e topográfico do edifício;
- iii. Visitas ao interior do edifício, permitindo realizar o levantamento exaustivo do estado de degradação do mesmo, habitualmente com recurso a levantamentos fotográficos;
- iv. Visitas ao exterior do edifício para avaliação do seu estado de degradação e condições da envolvente;
- v. Análise da eventual implementação de um plano de monitorização do edifício, no caso de ser necessário detetar a existência de eventuais movimentos ativos estruturais;
- vi. Seleção das técnicas de diagnóstico e/ou sondagens a realizar para a caracterização dos materiais e da configuração dos elementos construtivos, ao nível do seu comportamento mecânico, físico e ao nível do comportamento da própria estrutura, incluindo as fundações e avaliação das condições higrotérmicas. Este tipo de técnicas, que podem ser do tipo de sondagens ou de ensaios, poderá ser realizado *in situ* ou em laboratório, de acordo com a especificidade da cada uma das técnicas utilizadas.

A metodologia que será abordada centra-se nos momentos iii., iv. e vi.. A escolha deste modelo fundamenta-se no facto de apresentar maior detalhe e disponibilizar uma listagem de procedimentos que integram todas as fases, de montante a jusante, desde o início do projeto, à execução da obra.

2.2. TÉCNICAS DE MAPEAMENTO DE PATOLOGIAS EM FACHADAS

Com o objetivo de identificar as potenciais técnicas de mapeamento de fachadas, apresenta-se uma listagem de ferramentas de auxílio ao mapeamento de patologias em fachadas. Das ferramentas seguidamente abordadas, verifica-se uma diferenciação explícita quanto ao seu potencial de precisão visual, inovação tecnológica e risco para o seu operador. As premissas referidas serão um critério de análise crítica de grande importância, tendo em conta o seu contributo para uma atitude metodológica mais precisa e segura, exigível nos processos de diagnóstico e reabilitação das fachadas dos edifícios.

Seguramente que o mapeamento de fachadas não encerra na forma de recolha dos danos existentes. É igualmente exigível que a sua representação gráfica seja eficaz, possibilitando a averiguação da correlação entre os dados registados, ou seja, a gestão integrada de uma série de parâmetros é crucial.

De seguida, descrevem-se as ferramentas existentes para a recolha das manifestações das anomalias existentes nas fachadas, a sua forma de registo gráfico, os equipamentos necessários para a realização de cada técnica, as suas potencialidades e limitações.

2.2.1. MAPEAMENTO DE PATOLOGIAS EM FACHADAS ATRAVÉS DA OBSERVAÇÃO VISUAL DIRETA

2.2.1.1. Fundamentos

Das técnicas de mapeamento de patologias em fachadas que irão ser descritas no presente capítulo, o recurso à observação visual direta das anomalias é, sem dúvida, intrínseca a todas. Este estudo preliminar e visual do edifício está na base de qualquer ação, no sentido da criação de um mapa de patologias. Esta técnica é amplamente utilizada, referida transversalmente em estudos de caso de inspeção de diagnóstico de patologias em edifícios, por diversos autores.

2.2.1.2. Metodologia

O mapeamento de patologias com recurso à observação visual deve ser atento e profundo, sendo pré-requisito que o observador tenha conhecimento das técnicas construtivas e dos materiais do edifício. Assim, o operador deverá inspecionar visualmente todo o edifício, no sentido de detetar todas as anomalias, devendo estar munido de dispositivos de auxílio ao mapeamento, como por exemplo binóculos, fita métrica, medidor de fissuras, bússola (para auxiliar na definição das orientações das fachadas, vãos, varandas e palas), escadote (ou para cotas mais elevadas, recorrer à montagem de andaimes e/ou plataformas elevatórias) e equipamento de segurança (caso seja necessário). [7]

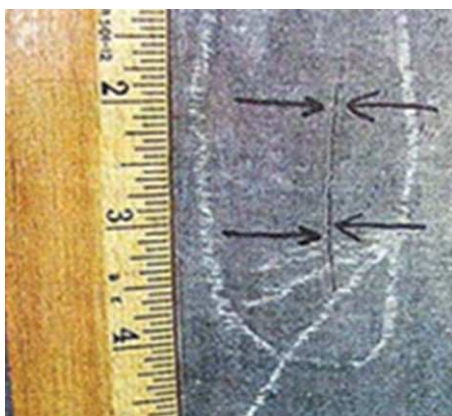


Fig.2.3 – Identificação dos elementos a inspecionar através da observação visual direta [7]

2.2.1.3. Forma de representação gráfica

Devem ser registadas em desenhos as patologias observadas, identificando-as, descrevendo-as e quantificando-as, recorrendo ao apoio de fichas de patologias pré-definidas para o efeito, como as desenvolvidas pelos autores Vítor Abrantes e J. Mendes da Silva – SDA – Método simplificado de diagnóstico de anomalias [8]. Na falta de elementos desenhados, deverá representar-se, sob a forma de desenhos e esquemas, as anomalias observadas.



Fig.2.4 – Identificação dos elementos a inspecionar através da observação visual direta, pelo IST [7]

2.2.1.4. Potencialidades

A principal vantagem desta técnica é, sem dúvida, o seu custo reduzido, decorrente do tipo de equipamentos necessários para o apoio e elaboração do levantamento das patologias, além de ser uma técnica não-destrutiva.

2.2.1.5. Limitações

As suas limitações são inúmeras. Desde logo devido ao carácter subjetivo na análise das anomalias por parte do profissional responsável pelo seu levantamento; a possibilidade da falta de elementos de projeto (plantas e alçados), fundamentais para proceder ao registo das patologias; a dificuldade no acesso a pisos mais elevados e/ou a fachadas de acesso mais limitado por questões espaciais; por último, exige capacidade de desenho à mão livre do profissional, para obter desenhos com a qualidade necessária para o registo futuro das anomalias. São sintetizadas nos quadros 2.1 e 2.2 as características desta técnica, bem como as suas potencialidades e limitações, respetivamente.

Quadro 2.1 – Características da técnica de mapeamento com recurso à observação visual direta

| Característica | | Observações |
|----------------------|-------------------------------------|---|
| Precisão | Em função do equipamento de medição | A precisão do levantamento fotográfico depende do equipamento de medição e da perícia do operador |
| | Equipamento | Binóculos, fita métrica, bússola, escadote e equipamento de segurança |
| Recursos necessários | Pessoas (n.º) | 1 |
| | Software | Nenhum |

Quadro 2.2 – Identificação das potencialidades e limitações da observação visual direta

| Observação visual direta | |
|---------------------------------|---|
| Potencialidades | Custo reduzido Técnica não destrutiva Simplicidade |
| Limitações | Segurança do operador Carácter subjetivo na análise das anomalias e gestão da informação Edifícios de cerca reduzida Impossibilidade de registos em fachadas menos acessíveis Capacidade de desenho à mão livre por parte do operador |

Correntemente, a observação visual não é de *per si* suficiente, contudo, está na base de qualquer técnica de mapeamento de patologias de fachadas.

2.2.2. MAPEAMENTO DE PATOLOGIAS EM FACHADAS ATRAVÉS DE LEVANTAMENTO FOTOGRÁFICO

2.2.2.1. Fundamentos

Esta será, provavelmente, a técnica mais amplamente utilizada, dada a sua simplicidade.

Com a tecnologia disponibilizada atualmente – as máquinas fotográficas digitais –, com grande facilidade se conseguem obter imagens de boa qualidade que permitem não só registar as anomalias analisadas, como também criar um portefólio digital documental do edifício e das suas patologias.

Esta técnica, porém, não descarta a referida no ponto anterior, nem os materiais de auxílio, uma vez que as dificuldades de acesso a cotas mais elevadas do edifício e/ou a fachadas inacessíveis permanecem. No entanto, podem ser ultrapassados alguns obstáculos, no caso de se utilizar um equipamento fotográfico com uma objetiva que permita obter imagens de qualidade a distâncias superiores.

Esta metodologia de mapeamento de patologias em edifícios tem sido citada na elaboração de fichas de diagnóstico de patologias por diversos autores e instituições, como se pode verificar, a título de exemplo, nas “Fiches Pathologie du Bâtiment”, elaboradas pela AQC [9], na “Metodologia de Diagnóstico de Patologias em Edifícios”, apresentada por Rui Calejo na sua Tese de Doutoramento [9] e na Tese de Mestrado de Sara Amaral “Inspeção e Diagnóstico de Edifícios Recentes. Estudo de um caso Real” [4].

2.2.2.2. Metodologia

Segundo Martha Tavares [9], a técnica de levantamento fotográfico subdivide-se nas seguintes:

- Fotografia simples – fotografia convencional;
- Fotografia macro – para detalhes;
- Fotografia com iluminação tangencial ou rasante – variação dos ângulos entre 5° a 30°, com o objetivo de captar com detalhe as irregularidades da superfície;
- Fotografia com lentes de aumento – possibilidade de observar detalhes.



Fig.2.5 – Registo de patologias numa fachada através de fotografia [10]

A captação de imagens fotográficas deve ser capaz de detetar as patologias presentes na fachada do edifício, tais como, fissuras, eflorescências, falhas construtivas, destacamento de revestimentos, infiltrações, etc.

2.2.2.3. Forma de representação gráfica

Uma vez mais, devem ser registadas todas as anomalias detetadas e observadas, quer em registos gráficos (desenhos), quer em fichas de inspeção criadas para o efeito. Em termos do desenho do alçado, é comum uma subdivisão da fachada por elementos geométricos e arquitetónicos, associando as fotografias de cada patologia ao elemento da matriz criada.

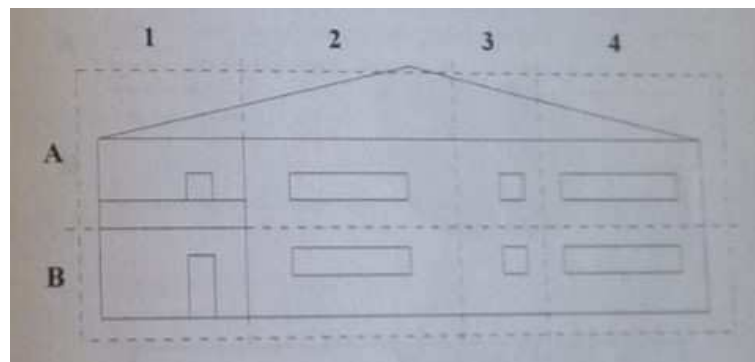


Fig.2.6 – Matriz de elementos geométricos e arquitetónicos para uma fachada, por Rui Calejo [11]

Atente-se no caso de estudo do edifício da Central Tejo em Lisboa [12], onde o mapeamento das patologias presentes nas fachadas foi concretizado através do levantamento fotográfico, com apoio da observação visual direta.

Nesse caso, foi realizado um levantamento exaustivo de todas as anomalias observadas, reunindo um portefólio fotográfico extenso, que culminou no registo gráfico das patologias no alçado do edifício, conforme se apresenta na Fig. 2.7.

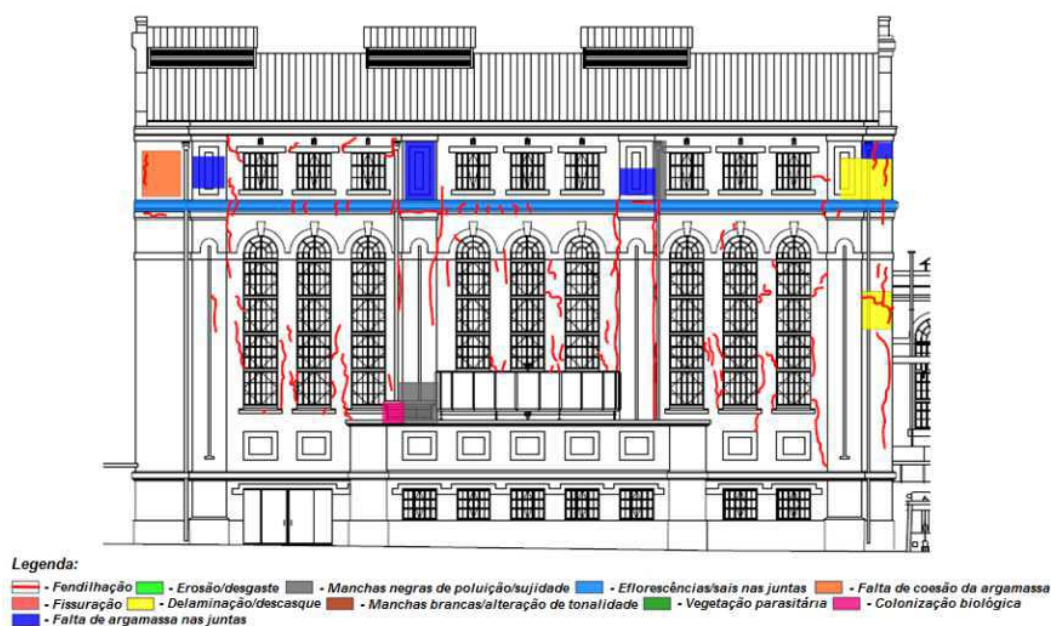


Fig.2.7 – Mapeamento de patologias na fachada sul do edifício de BP [12]

Associado ao registo gráfico das patologias das fachadas, o autor anexou um quadro-resumo resultante do mapeamento com recurso ao levantamento fotográfico, identificando as anomalias com as fotografias obtidas e o correspondente alçado.

| Anomalias | Baixa Pressão | | | | Alta Pressão | | | |
|---|---------------|------------|------------|------------|--------------|------------|-------------|-------------|
| | Nascente | Poente | Norte | Sul | Nascente | Poente | Norte | Sul |
| | Figura 5.5 | Figura 5.6 | Figura 5.7 | Figura 5.8 | Figura 5.9 | Figura 5.9 | Figura 5.10 | Figura 5.11 |
| Fendilhação | •• | ••• | • | ••• | • | ••• | •• | •• |
| Fissuração | • | •• | •• | •• | - | •• | •• | •• |
| Erosão/desgaste | •• | •• | ••• | ••• | •• | • | •• | ••• |
| Delaminação/descasque | - | • | - | • | - | • | • | • |
| Manchas negras de poluição/sujidade | • | • | •• | • | - | - | • | • |
| Manchas brancas/alteração de tonalidade | - | - | • | - | • | - | • | •• |
| Eflorações/sais nas juntas | • | • | • | • | • | • | • | • |
| Falta de coesão de argamassa | • | • | - | • | •• | • | • | • |
| Falta de argamassa nas juntas | • | • | - | • | - | • | - | • |
| Vegetação parasitária | • | - | - | - | - | - | - | - |
| Colonização biológica | - | • | • | • | - | - | - | - |

Legenda: (-) Não localizado; (•) Pontual; (••) Frequente; (•••) Generalizado; (Verde) Representado; (Vermelho) Não representado.

Fig.2.8 – Exemplo de um quadro-resumo resultante do mapeamento com recurso ao levantamento fotográfico [12]

Graficamente o trabalho é muito interessante e foi efetivado o registo das anomalias, conforme pretendido. Contudo, a quantidade de fotografias obtidas, a precisão das mesmas e o seu registo num quadro associando as fachadas e as anomalias, potencia o erro, uma vez que a informação se encontra muito dispersa. Não existe, aliás, possibilidade de relacionar as patologias das fachadas com eventuais

manifestações que possam ocorrer no interior, nem relacionar as anomalias com elementos estruturais da fachada. A ausência de associação de técnicas de mapeamento (por exemplo, associar a termografia) impediu que fossem obtidos dados adicionais que pudessem fundamentar de forma mais eficaz as patologias detetadas, e o seu posterior diagnóstico e soluções.

2.2.2.4. Potencialidades

O mapeamento de patologias em fachadas com recurso à fotografia reveste-se de grande facilidade na captação e registo documental das anomalias. A era digital simplificou o acesso à fotografia, uma vez que com uma simples ligação *USB* da câmara fotográfica ao computador, ou através da leitura do cartão de memória do equipamento, rapidamente se transfere toda a informação recolhida. Simultaneamente, o custo atual das máquinas digitais é acessível; a possibilidade de guardar os ficheiros como registo futuro das anomalias observadas é igualmente importante; apresenta maior segurança do operador; potencia a observação de irregularidades da fachada pela possibilidade de obter fotografias obtidas com ângulos rasantes; e, por fim, a portabilidade dos equipamentos revela-se igualmente meritória.

2.2.2.5. Limitações

À semelhança da técnica anterior descrita, também esta apresenta limitações, nomeadamente na obtenção de registos de patologias localizadas em cotas mais elevadas do edifício, ou em fachadas de difícil acesso. O facto de não se obter uma fotografia da totalidade da fachada do edifício com elevada definição representa uma lacuna face à possibilidade de uma visão global das patologias presentes no edifício, impedindo-a de correlacionar os danos registados (Fig. 2.12). Uma última limitação será a necessidade de recorrer, tal como na técnica de inspeção visual direta, à elaboração de fichas de danos, que poderão ser suscetíveis de apresentar subjetividade na sua construção e registo das anomalias. Apresentam-se nos quadros 2.3 e 2.4 as características desta técnica, bem como as suas potencialidades e limitações, respetivamente.

Quadro 2.3 – Características da técnica de mapeamento com recurso ao registo fotográfico

| Característica | | Observações |
|----------------------|---|---|
| Precisão | Em função da distância máquina fotográfica-objeto e das características da resolução do equipamento e da objetiva utilizada | A precisão diminui com o aumento da distância do objeto e com objetivas de capacidade inferior; a precisão é insatisfatória em fotos que alcancem a visualização de todo o alçado do edifício |
| | Equipamento | |
| Recursos necessários | Máquina fotográfica digital, tripé e computador (para processamento das imagens) | |
| | Pessoas (n.º) | 1 |
| | Software | Para a retificação das imagens recolhidas Photoshop (por exemplo) |

Quadro 2.4 – Identificação das potencialidades e limitações do levantamento fotográfico

| Levantamento fotográfico | |
|--------------------------|---|
| Potencialidades | Custo reduzido Técnica não destrutiva Simplicidade Registo documental Observação de irregularidades nas fachadas Portabilidade dos equipamentos |
| Limitações | Edifícios de pequena escala Dificuldade nos registos em fachadas menos acessíveis Impossibilidade da visualização da fachada como um todo (em termos de precisão) Carácter subjetivo na gestão da informação |

2.2.3. MAPEAMENTO DE PATOLOGIAS EM FACHADAS COM RECURSO A APLICAÇÕES MULTIMÉDIA

2.2.3.1. Fundamentos

Em 2006 o NCREP da FEUP desenvolveu uma aplicação multimédia com o objetivo de tratamento, sistematização e apresentação da informação recolhida no âmbito das inspeções realizadas em imóveis classificados ou de interesse público. [13]

Esta aplicação é constituída por uma plataforma de gestão e tratamento da informação, visando a sua sistematização, sendo este um critério aludido, neste capítulo, como crucial para uma tipificação e uniformização dos dados recolhidos, no âmbito das técnicas de mapeamento.

Apesar de nesta técnica não ter sido mencionado o modo como a recolha das patologias foi obtida, esta técnica de mapeamento de patologias em fachadas, mais concretamente a forma de processamento da gestão da informação, comporta um contributo para uma gestão integrada da informação que se reveste de extrema importância numa fase final de recolha de dados do mapeamento, contribuindo para a obtenção de conclusões que conduzem às soluções esperadas para a resolução das anomalias.

2.2.3.2. Metodologia

Este método recorreu ao *software* da autoria Macromedia Director, que permite desenvolver aplicações multimédia completas. A função destes aplicativos é a combinação de texto, gráficos, animações, som e vídeo numa aplicação interativa e integrada.

2.2.3.3. Forma de representação gráfica

Quando aplicada ao mapa de danos observados numa fachada de um edifício, os temas Levantamento de Patologias e Registo de Danos são apresentados em desenhos dos alçados em 2D, onde são registadas as diferentes patologias observadas. São incluídos conteúdos interativos nesses desenhos, sendo possível com a simples passagem do cursor do rato sobre as representações das patologias, a visualização das fotografias referentes, e, ainda, poderão ser visualizadas as fichas de registo das patologias em formato pdf. Uma vez que o *software* Macromedia Director não suporta ficheiros oriundos do *software* Autocad, o NCREP recorreu ao *software* Macromedia Flash para a conversão dos ficheiros *dwg* num formato suportado pelo Macromedia Director.

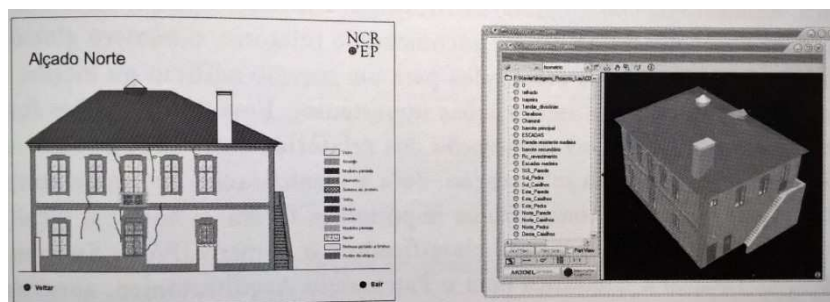


Fig.2.9 – Imagem do registo das patologias em alçados 2D e visualização 3D [13]

2.2.3.4. Potencialidades

A utilização da gestão de dados observados nesta técnica apresenta claras vantagens, sendo facilmente visualizáveis os dados e os conteúdos das patologias registadas, bem como a possibilidade de criar um registo histórico documental e detalhado do edifício.

2.2.3.5. Limitações

Contudo, a forma como são captadas as informações sobre as patologias não é referida. O recurso a diversos *softwares* para integrar a gestão dos dados poderá ser desvantajoso. Apresentam-se nos quadros 2.5 e 2.6 as características desta técnica, bem como as suas potencialidades e limitações, respetivamente.

Quadro 2.5 – Características da técnica de mapeamento com recurso a aplicações multimédia

| Característica | Observações | | |
|----------------------|---|--|---|
| Precisão | Desconhece-se a técnica utilizada para avaliar a precisão | | |
| Recursos necessários | Equipamento | Computador | |
| | Pessoas (n.º) | 1 | |
| | Software | Para a retificação das imagens recolhidas e conversão de ficheiros | Autocad, Macromedia Director e Macromedia Flash. O facto de os conteúdos serem interativos potencia a análise do problema |

Quadro 2.6 – Identificação das potencialidades e limitações das Aplicações Multimédia

| Aplicações multimédia | |
|------------------------|---|
| Potencialidades | Técnica não destrutiva Registo documental Registo da informação Gestão integrada da informação |
| Limitações | Softwares diversos Formação do operador Ausência de informações sobre a forma de mapear as fachadas |

2.2.4. MAPEAMENTO DE PATOLOGIAS EM FACHADAS ATRAVÉS DA TERMOGRAFIA

2.2.4.1. Fundamentos

A Termografia é uma técnica que permite detetar variações de temperatura num dado objeto, através da medição da radiação dos raios infravermelhos, ou seja, trata-se de um método de deteção da distribuição da energia térmica emitida por uma determinada superfície ou objeto. [14]

Sendo que todos os objetos emitem radiação infravermelha, a intensidade da sua emissão depende de dois fatores:

- Condições térmicas do objeto;
- Emissividade.

A emissividade (ε) é definida como o parâmetro que caracteriza a energia emitida pelo corpo e é igual ou inferior à unidade (a emissividade de um corpo negro é um). [14]

Assim, de acordo com a Lei de Stefan-Boltzmann, a quantidade de radiação emitida por um corpo não negro, ou seja, um corpo cinzento é:

$$R_t = \varepsilon \times \sigma \times T^4 \quad (1)$$

Em que:

R_t = Radiação emitida pelo corpo [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]

ε = Emissividade

σ = Constante de Boltzmann = 5.67×10^{-8} [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$]

T = Temperatura absoluta do corpo [K]

Esta técnica é usualmente utilizada como técnica de diagnóstico de patologias, contudo, face à sua possibilidade de captação de imagens termográficas, pode ser considerada igualmente como uma técnica de mapeamento de patologias em fachadas.

2.2.4.2. Metodologia

Os equipamentos para se proceder ao mapeamento de diagnóstico de patologias em fachadas através desta técnica são, fundamentalmente, a câmara termográfica e o tripé. Será igualmente necessário um computador para processamento das imagens obtidas.

Assim, através desta técnica é possível detetar, identificar e diagnosticar anomalias das fachadas dos edifícios, bem como diagnosticar patologias ainda não aparentes, mas já embrionárias:

- Pontes térmicas;
- Detecção de fendas estruturais;
- Zonas sem isolamento térmico ou com isolamento danificado;
- Fugas de ar através dos vãos envidraçados e da envolvente opaca;
- Humidade proveniente de infiltrações ou de fugas de água.

Para potenciar os resultados obtidos através da termografia, dever-se-á ter em conta que a medição da radiação de infravermelhos é fortemente condicionada por diversos fatores. Segundo Eva Barreira [14], os fatores que influenciam a medição da radiação infravermelha são os seguintes:

- A emissividade dos materiais;
- A refletividade dos materiais;
- A atenuação atmosférica;
- As fontes de calor exteriores;
- O vento;
- A humidade relativa;
- A incidência do sol;
- As sombras provocadas por outros edifícios;
- A distância da câmara termográfica ao objeto;
- A cor da superfície.

2.2.4.3. Forma de representação gráfica

Os dados obtidos com a termografia representam-se através de imagens coloridas, contudo a sua aparente facilidade de interpretação não é imediata e requer conhecimentos técnicos sobre a área, bem como conhecimento da emissividade de diversos materiais.

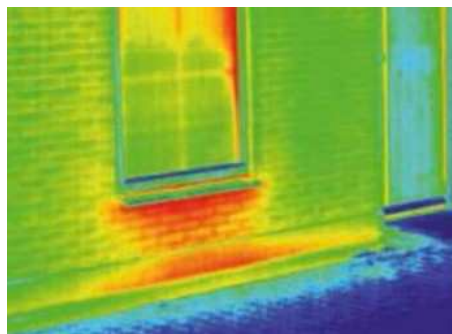


Fig.2.10 – Termograma com visualização de isolamento insuficiente [15]

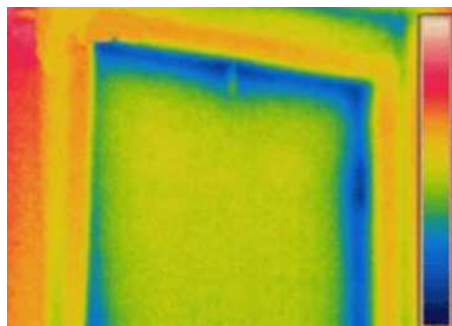


Fig.2.11 – Termograma com visualização de fugas de ar numa porta [15]

Face ao exposto, deve atentar-se que a análise das imagens termográficas carece de experiência por parte do profissional que as está a avaliar, bem como uma cuidada interpretação. Os resultados dos ensaios termográficos poderão, assim, ser analisados qualitativa e quantitativamente, em função da necessidade de dados mais ou menos concretos para cada projeto de reabilitação.

A análise qualitativa baseia-se numa observação visual das imagens termográficas, sendo esta uma abordagem superficial, rápida e de fácil interpretação. A análise quantitativa requer o conhecimento dos parâmetros de medição, tais como temperaturas superficiais a analisar, a temperatura ambiente, a humidade relativa, a distância da câmara termográfica à superfície e a emissividade real da superfície, sendo esta análise mais detalhada e mais demorada, porém permite obter conclusões mais aprimoradas. [14]

2.2.4.4. Potencialidades

A termografia apresenta-se como uma técnica com inúmeras potencialidades e poucas limitações. Apresenta vantagens por ser uma técnica não destrutiva, que admite ensaios em tempo real, ensaios noturnos, mas principalmente pode ser aplicada a edifícios em funcionamento.

2.2.4.5. Limitações

As suas limitações são principalmente o seu custo que poderá ser elevado, a experiência e conhecimento por parte do operador, e as condições de ensaio bastante rígidas, que poderão originar resultados diferentes para a mesma anomalia, como se pode verificar na Fig. 2.12. De salientar que a aplicação desta técnica no diagnóstico de patologias em edifícios deve obedecer a Normas Internacionais. Apresentam-se nos quadros 2.7 e 2.8 as características desta técnica, bem como as suas potencialidades e limitações, respetivamente.

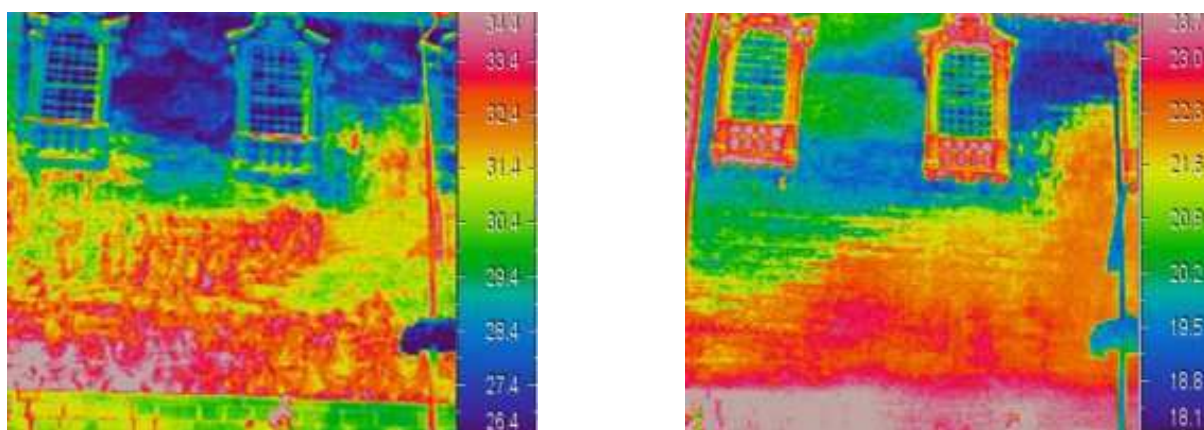


Fig.2.12 – Influência da incidência do sol na fachada (meio dia e entardecer) [16]

Quadro 2.7 – Características da técnica de mapeamento com recurso à Termografia

| Característica | | Observações | |
|----------------------|---------------|--|--|
| Precisão | | Em função dos fatores emissividade, refletividade, atenuação atmosférica, fontes de calor, vento, humidade relativa, incidência do sol, sombra, distância da câmara e cor superfície | Requer uma análise e interpretação cuidada das imagens termográficas |
| | Equipamento | Máquina termográfica, tripé e computador (para processamento das imagens) | |
| Recursos necessários | Pessoas (n.º) | 1 | |
| | Software | O equipamento utilizado é acompanhado por um <i>software</i> para as imagens | <i>Software</i> que acompanha o equipamento e Excel |

Quadro 2.8 – Identificação das potencialidades e limitações da Termografia

| Termografia | |
|-----------------|--|
| Potencialidades | Técnica não destrutiva. Registo da informação Ensaio em edifícios em funcionamento Segurança do operador Ensaio noturnos Ensaio em tempo real |
| Limitações | Custo elevado Formação e experiência do operador |

2.2.5. MAPEAMENTO DE PATOLOGIAS EM FACHADAS COM RECURSO À FOTOGRAMETRIA DIGITAL

2.2.5.1. Fundamentos

A fotogrametria é uma técnica que remonta ao ano de 1849, tendo sido desenvolvida pelo engenheiro militar francês Aimé Laussedat. Porém, foi o arquiteto alemão Albrecht Meydenbauer que introduziu a designação de fotogrametria. Esta técnica tem passado por diversas fases de evolução, das quais se destacam a gráfica, a analítica e a digital. [5]

A American Society of Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS), define a fotogrametria como “a arte, ciência e tecnologia usada para a recolha de informação métrica e interpretativa de objetos, por meio da medição e interpretação de imagens recolhidas através de registos na banda espectral do visível”. [17]. Segundo a International Society of Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRM) fotogrametria e deteção remota são “a arte, ciência e tecnologia de obtenção de informações fiáveis a partir de imagem e outros sistemas ou sensores sem contato com o objeto, que atuem sobre a Terra e o seu ambiente, e outros objetos físicos e processos por meio de gravação, medição, análise e representação”. [18]. A fotogrametria apresenta-se, assim, como uma ferramenta para a obtenção de informação geométrica fidedigna e precisa de objetos físicos, permitindo a medição, análise e

interpretação de fotogramas com vista à classificação e determinação de posições e dimensões reais dos objetos neles representados, possibilitando a reconstituição de modelos bidimensionais e tridimensionais gerados computacionalmente através de um *software* específico para a função. De acordo com Vítor Cóias [19], a fotogrametria “é um método de levantamento baseado na observação do mesmo objeto de dois ou três ângulos diferentes, possibilitando a reconstituição de uma imagem espacial a partir de imagens bidimensionais”.

Possibilita, ainda, realizar medições sobre os fotogramas, bem como áreas ou ângulos, sendo a sua utilização mais comum, a cartografia. Esta técnica é também muito usual na topografia.

A fotogrametria divide-se, fundamentalmente, em duas áreas:

- Fotogrametria aérea

Técnica utilizada correntemente no mapeamento cartográfico, envolve a utilização de câmaras métricas e elaborados planos de voo. Dadas as técnicas de fotogrametria utilizadas para o estudo da cartografia não se revelarem de todo adequadas ao mapeamento de patologias em fachadas, esta técnica não será desenvolvida no presente trabalho.

- Fotogrametria digital terrestre

A fotogrametria digital terrestre pode ser classificada e dividida segundo duas abordagens distintas, em função do posicionamento da câmara em relação ao objeto:

- Estéreo;
- Multi-estações.

A aplicação de uma configuração multi-estações permite alcançar maior precisão na determinação das coordenadas 3D. [20]

Além da sua capacidade em representar objetos tridimensionais, a obtenção de objetos bidimensionais reveste-se de maior facilidade, não eliminando, contudo, a capacidade de realização de medições sobre o fotograma sobre as direções x e y .

A obtenção de objetos bidimensionais ou tridimensionais advém do tipo de princípios fotogramétricos subjacentes ao esquema metodológico base – calibração da máquina fotográfica, aquisição de imagens e extração dos dados – retificação e restituição.

A retificação – projeção vertical de uma imagem oblíqua – possibilita a obtenção de dados bidimensionais dos objetos. [20]

Por sua vez, a restituição permite a aquisição de dados tridimensionais dos objetos, sendo, contudo, necessário para o efeito, o estabelecimento prévio de uma rede de pontos de controlo georreferenciados com recurso a uma ferramenta topográfica ou coordenadas GPS rigorosas. Assim, a transformação de uma imagem 2D numa imagem 3D obriga ao conhecimento dos parâmetros intrínsecos da câmara (distância focal e ângulos de rotação) e obtenção das coordenadas GPS; com os dados obtidos, através de um algoritmo matemático – presente em *softwares* de modelação fotográfica como o PhotoModeler –, torna-se possível a construção de imagens tridimensionais. [20]

2.2.5.2. Metodologia

Para o mapeamento de patologias em fachadas de edifícios, facilmente observáveis numa projeção 2D, ou seja, bidimensional (x,y) , o princípio fotogramétrico metodológico base necessário para a sua

execução resume-se à restituição. Desta forma, a metodologia descrita baseia-se apenas no princípio da obtenção de imagens bidimensionais retificadas.

i. Definição dos equipamentos e *software* a utilizar

Na fase inicial de um levantamento fotogramétrico, deverão ser definidos os equipamentos a utilizar e as suas características, em particular as características da câmara digital e da objetiva, e o *software* de retificação de imagens. Esta definição é da maior importância para se poder calcular o tamanho do *pixel* que se relaciona com a resolução da imagem obtida, em função da precisão com que se deseja analisar determinada patologia. Quanto menor for o tamanho do *pixel*, maior será a quantidade de *pixels* por unidade de área contida numa imagem e maior será a precisão do fotograma obtido. Desta forma, será possível calcular o tamanho do *pixel* de acordo com a seguinte equação:

$$TP = \frac{H \times d}{NP \times c} \quad (2)$$

Onde:

TP = Tamanho do *pixel*

H = Distância entre a máquina fotográfica e o elemento a fotografar [mm]

d = Tamanho do sensor da máquina fotográfica [mm]

NP = Número de *pixels* da imagem de acordo com as características da máquina fotográfica

c = Comprimento focal da lente [mm]

ii. Planeamento do trabalho de campo

Neste ponto, deverão ser definidas as localizações da captura das fotografias com recurso, por exemplo, ao Google Earth, identificando o local do edifício; verificação de obstáculos entre a câmara e o edifício; definição de posições da câmara fotográfica e avaliação do melhor momento do dia para a captação das imagens em função da exposição solar. Após a determinação da localização dos equipamentos no terreno, deverá proceder-se à visita ao local do edifício, com o objetivo de confirmar o planeamento definido.



Fig.2.13 – Planeamento do posicionamento das tomadas das fotografias [5]

iii. Processamento das imagens, ajuste da escala das imagens em relação aos dados obtidos do edifício, retificação do efeito de perspetiva das imagens.

Esta etapa é crucial para garantir que as imagens obtidas vão permitir mapear as patologias com o nível de precisão necessário. Para corrigir a escala das imagens de acordo com medidas tomadas no local e/ou informações recolhidas através de elementos de projeto, o recurso ao *software* Autocad é válido e de grande facilidade. A retificação das distorções das imagens poderá ser realizada através dos *softwares* Arcgis ou Photoshop.

No caso de estudo promovido pela Universidade Estadual de Campinas/Departamento de Arquitetura e Construção [21], foi desenvolvido o mapeamento de fachadas através da fotogrametria.

A imagem abaixo apresentada (Fig. 2.14), diz respeito à composição de um fotograma com recurso à técnica referida. Facilmente se observa que a precisão obtida é insuficiente. Não se conseguem visualizar as patologias com rigor (fissuras, a título de exemplo). Desta forma, a técnica da fotogrametria só se revela eficaz se o operador utilizar os equipamentos adequados, nomeadamente a máquina fotográfica e a objetiva. Unicamente com objetivas de precisão, acompanhadas por máquinas com o sensor de imagem adequados, se conseguem obter imagens extremamente nítidas e de grande resolução.

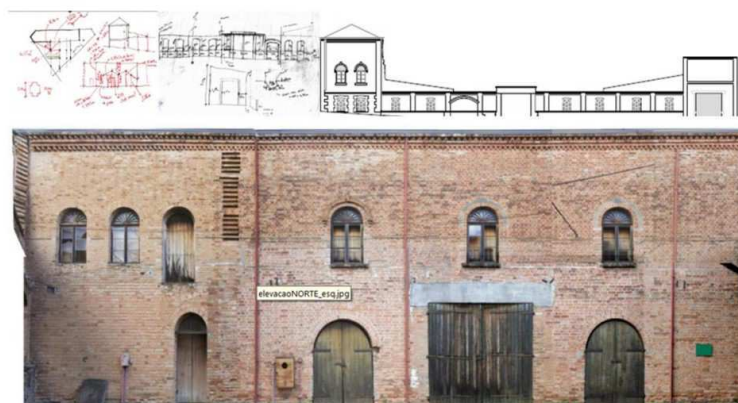


Fig. 2.14 – Exemplo de uma imagem fotogramétrica (sem o nível de definição pretendido) [21]

A correção da distorção gerada pelo efeito de perspetiva é um passo ao qual deve ser atribuída a maior importância, pois só após esta retificação, é possível obter um fotograma que representa fielmente o alçado do edifício. O ajuste da escala da fotografia poderá ser realizado através da medição dos elementos de projeto existentes, ou no caso destes serem inexistentes, deverá proceder-se ao levantamento geométrico de algumas dimensões cruzadas do edifício.



Fig. 2.15 – Retificação do efeito da perspetiva na imagem recolhida [20]

2.2.5.3. Forma de representação gráfica

A etapa final e objetivo final da fotogrametria digital terrestre 2D associada ao mapeamento de patologias em fachadas, consiste em identificar as anomalias existentes. A ideia será representá-las num suporte gráfico do edifício, caso ele exista. Contudo, no caso de não existirem desenhos técnicos de projeto dos edifícios, o seu levantamento arquitetónico apresenta-se facilitado, uma vez que ao ser realizado o mapeamento com recurso à fotogrametria, com facilidade se podem calcular as dimensões reais do edifício através da fotografia. A representação gráfica das patologias poderá ser semelhante ao exemplo abaixo apresentado, sendo este tipo de representação obtida através de um *software* de desenho, como Autocad, Revit ou Arcgis.

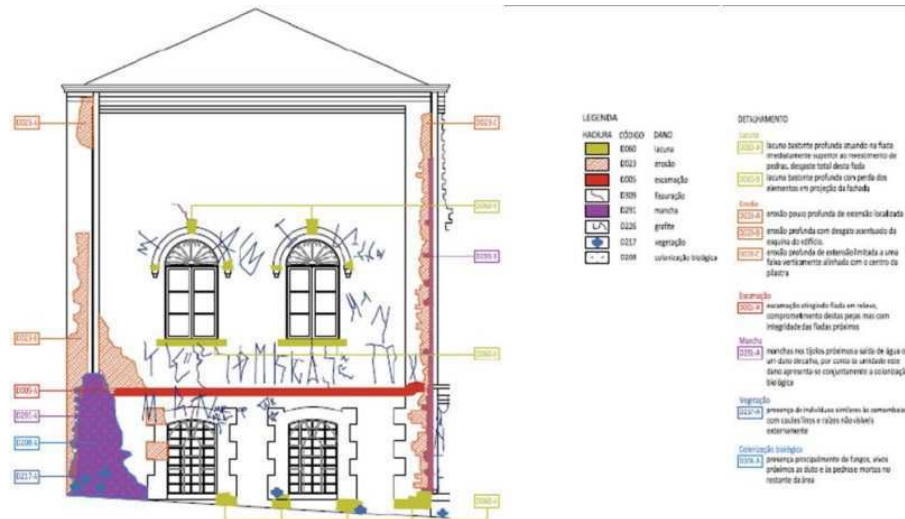


Fig.2.16 – Mapeamento de patologias no desenho do alçado [21]

2.2.5.4. Potencialidades

Esta técnica, quando comparada com as anteriores, suporta uma precisão superior do objeto de análise, possibilitando o registo das patologias existentes com maior facilidade e exatidão, além da economia de tempo. Sendo estas as principais vantagens da técnica e não apresentando grande dificuldade na sua aplicação, exige um conhecimento mais específico do uso de *softwares* de tratamento de imagem e de desenho técnico. A subjetividade da gestão dos dados recolhidos é reduzida, uma vez que permite uma análise global da fachada, e, em simultâneo, o seu registo documental. De referir que uma vez obtidas as fotografias, facilmente pode obter-se o levantamento arquitetónico do edifício.

2.2.5.5. Limitações

Esta técnica apresenta, porém, algumas limitações, sendo a mais relevante o custo de alguns dos equipamentos necessários, além da qualificação do operador que irá executar o mapeamento. O grau de precisão requerido depende exclusivamente do equipamento utilizado, nomeadamente a máquina fotográfica e a objetiva a utilizar. Poderá, inclusivamente, ser condicionada a aquisição das imagens panorâmicas quando a distância do equipamento ao objeto é limitada. Apresentam-se nos quadros 2.9 e 2.10 as características desta técnica, bem como as suas potencialidades e limitações, respetivamente.

Quadro 2.9 – Características da técnica de mapeamento com recurso à Fotogrametria

| Característica | | Observações |
|----------------------|---------------|--|
| Precisão | | Em função da distância máquina fotográfica-objeto, das características da resolução do equipamento e da objetiva utilizada |
| | | Permite precisões elevadas na tomada do alçado na sua totalidade |
| Recursos necessários | Equipamento | Máquina fotográfica digital, objetiva, tripé e computador (para processamento das imagens) |
| | Pessoas (n.º) | 1 |
| | Software | Para a retificação das imagens recolhidas e correção da escala do fotograma |
| | | Autocad, Arcgis, Photoshop (por exemplo). A escolha do <i>software</i> para montagem dos fotogramas é crucial para evitar desalinhamentos e distorções |

Quadro 2.10 – Identificação das potencialidades e limitações da Fotogrametria

| Fotogrametria | |
|-----------------|---|
| Potencialidades | Técnica não destrutiva Simplicidade Registo documental Economia de tempo Segurança do operador Observação de irregularidades nas fachadas Portabilidade dos equipamentos Registo da totalidade do alçado Edifícios de grande escala Levantamentos arquitetónicos |
| | Custo dos equipamentos Formação do operador Escolha adequada dos <i>softwares</i> a utilizar para evitar distorções e desalinhamentos dos fotogramas Gestão integrada dos dados recolhidos continua a ser subjetiva |

2.2.6. MAPEAMENTO DE PATOLOGIAS EM FACHADAS ATRAVÉS DA TÉCNICA DE VARRIMENTO LASER 3D

2.2.6.1. Fundamentos

A técnica de varrimento laser 3D, da sigla inglesa LiDAR (Light detection and ranging) é um sistema de varrimento laser que permite efetuar, remotamente, o levantamento tridimensional de um dado objeto.

Os sistemas de varrimento laser classificam-se como:

- 3D de satélite;
- 3D aéreo;

- 3D terrestre.

2.2.6.2. Metodologia

Um sistema de varrimento laser é constituído fundamentalmente por duas partes:

- Laser *scanner*;
- Unidade de controlo de sistema e sistema de posicionamento.



Fig.2.17 – Imagem de um *scanner* Leica ScanStation P-Series [22]

A estes dois equipamentos podem ainda acoplar-se câmaras fotográficas ou de vídeo.

Relativamente ao sistema mais útil para o mapeamento de fachadas – o 3D terrestre -, os sensores laser emitem radiação eletromagnética sob a forma de impulsos, através da qual o digitalizador laser calcula a distância ao ponto P. Para cada impulso emitido e refletido, obtém-se as coordenadas tridimensionais polares do ponto de reflexão, sendo estas transformadas num sistema cartesiano de coordenadas associadas ao instrumento. Após esta transformação, o resultado é uma nuvem de pontos com coordenadas 3D instrumentais, que serão posteriormente convertidas para um sistema de referência objeto. Obtém-se, então, uma nova matriz de transformação que permite fazer a relação entre as coordenadas-instrumento (x, y, z) e as coordenadas-objeto (X, Y, Z). [20]

2.2.6.3. Forma de representação gráfica

Através deste levantamento remoto de nuvens de pontos referenciados em 3D, é possível obter modelos computacionais do objeto.

Ao contrário da fotogrametria, os dados recolhidos assumem desde o início a forma 3D.

A forma de processamento computacional das nuvens de pontos requer um vasto conhecimento de *softwares* de modelação 3D, tornado este método moroso.

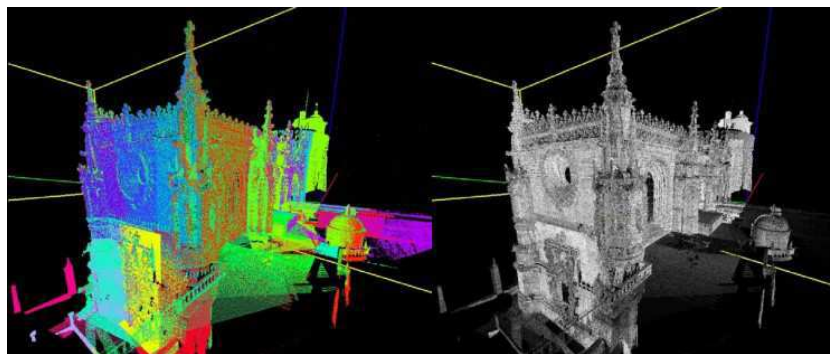


Fig.2.18 – Nuvem de pontos orientados e com refletância [20]

Fig.2.19 – Imagem obtida através de um *scanner ScanStation* Leica após processamento [22]

2.2.6.4. Potencialidades

Esta técnica é de grande utilidade na Engenharia, mais concretamente em levantamentos topográficos, levantamentos arquitetónicos, produção de modelos 3D urbanos, levantamentos da linha costeira, de linhas de caminhos de ferro, monitorização de diques e barragens, monitorização de zonas de cheias, entre outros.

No trabalho produzido no Curso de Doutoramento da FAUTL [20], os dados obtidos através desta técnica, revelam-se de grande utilidade no levantamento tridimensional de um edifício, porém muito limitados para a observação e mapeamento de patologias em fachadas. A precisão que a técnica oferece não permite detetar as anomalias das fachadas, uma vez a nuvem de pontos gerada não alcança a precisão desejada.

Outra das suas potencialidades, passa pela portabilidade dos equipamentos, possibilidade de reutilização dos dados tridimensionais e captura fiável e extensiva dos dados geométricos, o que a torna pertinente para a documentação de realidades complexas e deformadas.

2.2.6.5. Limitações

Por outro lado, as suas limitações não são desprezáveis. A sua utilização em objetos espelhados, vidro e metais polidos implica a adoção de técnicas complementares. Esta tecnologia exige um nível de preparação adequado por parte do seu operador, além do seu custo elevado. Apesar da sua precisão no levantamento tridimensional do edifício, não descarta o recurso a meios complementares, como a observação visual ou a fotografia digital, como complemento da observação das patologias existentes. Apresentam-se nos quadros 2.11 e 2.12 as características desta técnica, bem como, as suas potencialidades e limitações, respetivamente.

Quadro 2.11 – Características da técnica de mapeamento com recurso ao varrimento laser 3D

| Característica | | Observações | |
|----------------------|---------------|---|--|
| Precisão | | Elevada, em função do alcance do laser scâner e obstruções | Poderá ir até aos 0.03m |
| | Equipamento | Laser scâner, unidade de controlo de sistema, sistema de posicionamento e computador | |
| Recursos necessários | Pessoas (n.º) | 2 | Recomenda-se 2 operadores para a aquisição de dados de campo |
| | Software | O prestador de serviços deverá fornecer os <i>softwares</i> apropriados para os documentos 3D | Arcgis para processar e analisar os dados |

Quadro 2.12 – Identificação de potencialidades e limitações do varrimento laser 3D

| Varrimento Laser 3D | |
|---------------------|--|
| Potencialidades | Técnica não destrutiva Registo da informação Ensaios em edifícios em funcionamento Segurança do operador Modelos 3D Portabilidade dos equipamentos Adequada a edifícios de grande escala e complexos Levantamentos arquitetónicos |
| Limitações | Custo elevado Formação e experiência do operador Necessidade de <i>softwares</i> específicos Tempo de recolha e processamento dos dados elevado Não descarta a observação visual |

2.2.7. MAPEAMENTO DE PATOLOGIAS EM FACHADAS ATRAVÉS DA COMBINAÇÃO DAS TÉCNICAS DE FOTOGRAMETRIA E VARRIMENTO LASER 3D

2.2.7.1. Fundamentos

Atualmente recorre-se à combinação das técnicas de fotogrametria com o varrimento laser 3D. Com a integração dos dois sistemas, potencia-se um novo modo de inspeções visuais, designadas de inspeções visuais assistidas. [23].

Com a combinação das duas técnicas, torna-se possível produzir orto-imagens com exatidão de 3cm e resolução espacial variando entre 3-10 mm. Esta elevada resolução, torna possível a identificação de anomalias existentes em edifícios e em outros elementos construtivos.

A título de exemplo, o LNEC tem efetuado diversas pesquisas sobre a utilização dos sistemas de varrimento laser 3D combinados com a fotogrametria no estudo do ciclo de vida de uma barragem, tendo no final recomendado a utilização da combinação das duas técnicas.

A associação das duas técnicas exponencia a precisão e a resolução dos fotogramas bidimensionais e tridimensionais obtidos.

2.2.7.2. Metodologia

Para a concretização da recolha de dados por meio desta metodologia, são necessários equipamentos tecnológicos avançados.

Estes equipamentos naturalmente correspondem ao conjunto dos supracitados nas técnicas de mapeamento com recurso à fotogrametria e varrimento laser 3D, sendo que a sua articulação requer prática e conhecimentos específicos por parte dos operadores.

O processamento deste método inicia com a recolha de dados brutos em várias nuvens de pontos, em função do tamanho do objeto, informação topográfica existente, alcance do laser *scanner* e obstruções existentes. Esta fase de pré-processamento realizada *in situ*, visa a texturização das diferentes nuvens de pontos. Seguir-se-ão várias etapas de processamento, antes destes dados serem convertidos em documentos de engenharia.

O próximo passo é a filtragem de dados, através de um algoritmo automático de filtragem dos próprios *softwares* de edição de nuvens de pontos.

Terminados os processos de processamento e pós-processamento, e com os dados obtidos através do levantamento fotogramétrico entretanto realizado, produzem-se as orto-imagens, por meio da georreferenciação das fotografias obtidas através da fotogrametria, tendo como referência externa a modelação 3D texturizada.

2.2.7.3. Forma de representação gráfica

No estudo apresentado na Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia [23] sobre a aplicação desta técnica, conclui-se que após o adequado processamento fotogramétrico, são produzidas orto-imagens com exatidão de 3cm e resolução espacial variando entre 3-10 mm. O resultado obtido apresentou uma precisão extraordinária dos dados recolhidos, conforme se ilustra nas Fig. 2.20 e 2.21.

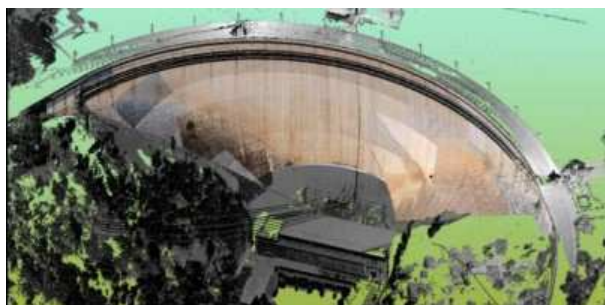


Fig.2.20 – Nuvem de pontos do paramento da barragem do Cabril, com 1 a 2 cm de precisão nas coordenadas 3D com uma resolução de 1 decímetro cúbico [23]



Fig.2.21 – Orto-imagem de alta resolução do paramento a jusante da barragem do Cabril, com uma resolução de 3mm [23]

2.2.7.4. Potencialidades

A associação das duas técnicas exponencia a precisão e a resolução dos fotogramas bidimensionais e tridimensionais obtidos.

Assim, este estudo permitiu concluir que a fusão da precisão fornecida pelas câmaras digitais, com a informação proveniente dos sistemas de varrimento laser 3D apresenta uma melhor resolução gráfica e, simultaneamente, mais rigorosa. A resolução alcançada com recurso a esta técnica é semelhante à alcançada através do olho humano, por via da observação visual direta. O seu potencial assenta no mapeamento de patologias em fachadas em edifícios de grande dimensão.

2.2.7.5. Limitações

No entanto, esta técnica exige grandes conhecimentos e experiência na utilização dos equipamentos necessários, além de que pressupõe grandes investimentos financeiros iniciais. Apresentam-se nos quadros 2.13 e 2.14 as características desta técnica, bem como as suas potencialidades e limitações, respetivamente.

Quadro 2.13 – Características da combinação das técnicas de fotogrametria e varrimento laser 3D

| Característica | | Observações |
|----------------------|---------------|--|
| Precisão | Até 3mm | Com uma objetiva de 300 mm |
| Recursos necessários | Equipamento | Laser <i>scanner</i> , unidade de controlo de sistema, sistema de posicionamento, câmara fotográfica digital, objetiva, computadores de alta performance |
| | Pessoas (n.º) | 2 Requer a formação de quadros qualificados |
| | Software | Diversos Específicos e avançados para o processamento das imagens |

Quadro 2.14 – Identificação das potencialidades e limitações da fotogrametria associada ao varrimento laser 3D

| Fotogrametria e varrimento Laser 3D | |
|-------------------------------------|--|
| Potencialidades | Técnica não destrutiva Registo da informação Ensaios em edifícios em funcionamento Elevada precisão A observação visual direta pode ser totalmente descartada Modelos 3D Adequada a edifícios de grande escala e complexos |
| Limitações | Custo muito elevado Formação e experiência do operador Necessidade de <i>softwares</i> específicos Tempo de recolha e processamento dos dados elevado |

2.3. AVALIAÇÃO CRÍTICA DAS VÁRIAS TÉCNICAS DE MAPEAMENTO DE PATOLOGIAS EM FACHADAS

As técnicas descritas ao longo deste capítulo têm como objetivo comum a aquisição e registo dos danos observáveis nas fachadas dos edifícios.

Pretende-se realizar uma avaliação das características das ferramentas apresentadas, de acordo com os critérios custo, complexidade, qualidade/quantidade da informação recolhida, complexidade na interpretação dos dados, formação do operador da técnica e subjetividade dos dados recolhidos. Sintetizam-se, também, os equipamentos inerentes a cada uma das técnicas. O resultado é apresentado no quadro 2.15.

Quadro 2.15 – Critérios de comparabilidade das técnicas de mapeamento de patologias em fachadas

| Técnica de Mapeamento | | | | | | | |
|--|------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------|---------------------|---|
| Critérios de comparabilidade | Inspeção visual direta | Levantamento fotográfico | Fotogrametria terrestre | Aplicações multimédia | Termografia | Varrimento Laser 3D | Fotogrametria combinada com varrimento laser 3D |
| Custo | mb | b | m | - | m | a | ma |
| Complexidade | mr | r | m | m | m | e | me |
| Qualidade/quantidade da informação recolhida | r | m | e | - | m | e | me |
| Complexidade na interpretação dos dados recolhidos | r | r | m | - | e | me | m |
| Formação do operador | m | m | m | m | m | e | me |
| Subjetividade dos dados recolhidos | e | m | r | r | e | r | r |

Regista-se que a técnica mais adequada ao estudo das patologias visíveis das fachadas é a fotogrametria, face ao custo moderado que apresenta e dado seu potencial de resultados alcançáveis.

Quadro 2.15 – Critérios de comparabilidade das técnicas de mapeamento de patologias em fachadas
(continuação)

| Equipamentos | | | | | | | |
|--------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|
| Binóculos | • | • | | | | | |
| Fita métrica | • | • | • | | | | |
| Bússola | • | • | • | | • | • | • |
| EPI's | • | | | | | | |
| Máquina fotográfica digital | | • | • | | | | • |
| Objetiva de pormenor | | | • | | | | • |
| Tripé | | • | • | | • | | • |
| Computador | | • | • | • | • | • | • |
| Máquina termográfica | | | | | • | | |
| Laser scanêr | | | | | | • | • |
| Unidade de controlo de sistema | | | | | | • | • |
| Sistema de posicionamento | | | | | | • | • |
| Drone ou avião para mapeamento aéreo | | | | | | • | • |

| Legenda | |
|--|--|
| Custo (mb/b/m/a/ma) | mb = muito baixo / b = baixo / m = médio / a = alto / ma = muito alto |
| Complexidade (mr/r/m/e/me) | mr = muito reduzida / r = reduzida / m = moderada / e = elevada / me = muito elevada |
| Qualidade/quantidade da informação recolhida (mr/r/m/e/me) | mr = muito reduzida / r = reduzida / m = moderada / e = elevada / me = muito elevada |
| Complexidade na interpretação dos dados recolhidos (mr/r/m/e/me) | mr = muito reduzida / r = reduzida / m = moderada / e = elevada / me = muito elevada |
| Formação do operador (mr/r/m/e/me) | mr = muito reduzida / r = reduzida / m = moderada / e = elevada / me = muito elevada |
| Subjetividade dos dados recolhidos (mr/r/m/e/me) | mr = muito reduzida / r = reduzida / m = moderada / e = elevada / me = muito elevada |

2.4. O RECURSO A TÉCNICAS DE MAPEAMENTO DE PATOLOGIAS EM FACHADAS NA PRÁTICA

Caracterizadas as ferramentas de mapeamento de patologias em fachadas, importa conhecer o recurso a estas técnicas na prática e compreender até que ponto estas são utilizadas.

O quadro 2.16, regista um levantamento não exaustivo das empresas do setor da fotogrametria, varrimento laser 3D, levantamentos arquitetónicos e inspeção de edifícios. A sua análise permite salientar a concentração das técnicas para levantamentos arquitetónicos, monitorização de elementos estruturais, patologias da pedra natural, levantamentos tridimensionais dos edifícios, conservação, restauro, levantamentos topográficos e levantamentos aerocartográficos.

Adicionalmente, as empresas que disponibilizam a inspeção e deteção de patologias em edifícios recorrem à inspeção visual direta, registo fotográfico e técnicas de diagnóstico.

Da listagem de empresas exibida, somente uma localizada na zona centro do país, refere a abordagem ao mapeamento de patologias em fachadas através da fotogrametria digital.

Quadro 2.16 – Empresas do setor da fotogrametria, varrimento laser 3D, levantamentos arquitetónicos e inspeção de edifícios

| Localização | Empresa | Contatos | Serviços/atividade |
|-------------|--|---|---|
| Zona Norte | Structurevalue | Sede Rua Sá da Bandeira nº 651, 3º andar, sala 7 e 7A, 4000-437 Porto info@structurevalue.com cseabra@structurevalue.com 222 084 174 www.structurevalue.com | Relatório técnico de peritagem que apresenta os defeitos e patologias detetadas na construção. Tipo de equipamentos utilizados: distanciómetro digital, câmara de termografia, medidores de humidade e temperatura, medidor de espessuras, medidor de gás, boroscópio, sonómetro e esclerómetro. [24] |
| | Superfície Topografia Lda. | Avenida Domingos Gonçalves de Sá Nº 412, 1º – Loja Z 4435-213 Rio Tinto Portugal mail@superficie.pt 229 789 134 www.superficie.pt | Levantamentos integrais da morfologia das construções combinando as mais avançadas tecnologias de fotogrametria, topografia, 3D Scanner. (Desenho vetorial, desenho de detalhe, Ortofotografias, modelos 3D); conservação e restauro; arqueologia; georreferenciação e cartografia temática. [25] |
| | TFS - Topografia, Fotogrametria e Fiscalização p/ Satélite, Lda. | R. Francisco Alexandre Ferreira 209 4400-469 Vila Nova de Gaia | Fotogrametria; não possui site ativo. |
| | ARTOP – AERO-TOPOGRÁFICA, Lda. | Sede: Av. de França, 316, 2º 4050-276 Porto Filial: Av. Marconi, 14-A, 1000-205 Lisboa 218 483 710 geral@artop.pt www.artop.pt | Topografia e Geodesia aplicada; cartografia topográfica e temática; fotogrametria cartográfica e ortofotocartografia; fotogrametria arquitetural; cadastro predial e agronomia; consultadoria especializada. [26] |

| | | | |
|--------------------|--|--|---|
| Zona Centro | OZ, Lda. | Rua Pedro Nunes, 45 - 1º Esq. 1050-170 Lisboa 21 356 33 71 ger@oz-diagnostico.pt www.oz-diagnostico.pt | Técnicas de inspeção e ensaio de edifícios históricos, monumentos e edifícios recentes, com recurso ao levantamento fotogramétrico e técnicas de diagnóstico. [27] |
| | In Situ, Conservação de Bens Culturais, Lda. | Rua Raúl Brandão, 114 2765-548 São Pedro do Estoril 214671470 insitu@insitu.pt www.insitu.pt/ | Conservação, restauro e estudo de bens culturais; estudo e diagnóstico de anomalias em património histórico construído; levantamentos arquitetónicos. [28] |
| | Artescan | IPN TecBis, Ed.- E, Rua Pedro Nunes 3030-199 Coimbra 239.090.876 artescan@artescan.net www.artescan.net | Mapeamento, topografia, fotogrametria e batimetria de infraestruturas de engenharia; documentos de engenharia: telas finais, plantas, perfis, isométricas e P&IDs; levantamentos arquitetónicos, arqueológicos e de património histórico; inspeção Visual Assistida para mapeamento de patologias (barragens, túneis, pontes, etc.); monitorização da geometria e análises de deformação de superfícies de taludes; modelos 3D macro e animações de objetos arqueológicos. [29] |
| | Satopel SA | Rua António Champalimaud Pólo Tecnológico de Lisboa Edifício Empresarial, 3 1600-546 Lisboa administracao@satopel.pt www.satopel.pt | Fotografia Aérea; topografia; fotogrametria; cadastro predial; sistemas de informação geográfica; <i>software</i> fotogramétrico. [30] |
| | TopoRigor - Topografia, Estudos e Projetos | Largo General Humberto Delgado nº 5, 1º Frente 2135-029 Samora Correia 938 354 756 | Laser <i>Scanning</i> 3D; drones & fotografia aérea alta resolução; topografia clássica; GPS e SIG; fiscalização & monitorização; bacias hidrográficas; projeto civil e industrial; projeto agrícola e florestal; projeto de terraplanagem; cadastro infraestruturas aéreas e enterradas; inspeção vídeo de condutas; desenho vetorial; engenharia inversa; modelação 3D; visitas virtuais; realidade aumentada. [31] |

| | | |
|--------------------------------------|--|--|
| Estereofoto GeoEngenharia S.A. | Rua Aristides de Sousa Mendes, 6 A 1600-413 Lisboa 217 110 240 217 166 702 administracao@estereofoto.pt geral@estereofoto.pt www.estereofoto.pt | Aquisição de Informação: fotografia aérea, topografia, varrimentos LASER, fotogrametria, videometria, cartografia, cartografia digital, modelos digitais de terreno (DTM/DEM), ortofotomapas, modelação e visualização 3D. Cadastro: avaliações de engenharia, expropriações e servidões, inventários agrícolas e florestais. Inspeções: infraestruturas enterradas, vias de comunicação, linhas aéreas de energia. Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Consultoria. [32] |
| Traçado regulador | Av. Aida, 25 - 1º Porta 35 2765-187 Estoril 214 668 044 geral@tracado.pt www.tracado.pt | Registo de patologias e defeitos de construção; diagnóstico; proposta de soluções. (através da termografia e técnicas simples de diagnóstico). [33] |
| PPH - Peritagem de patologias | Rua Gazeta de Oeiras, nº 2 - 1º A 2780 – 171 Oeiras 214 462 043 912 300 678 www.peritagemdeedificios.com | Levantamento e registo das patologias da construção; realização de medições e ensaios; verificação da compatibilidade dos materiais e soluções adotadas na construção com a regulamentação aplicável em vigor; verificação, exaustiva ou por amostragem, do cumprimento das soluções e especificações definidas nos projetos elaborados para a construção; análise das causas associadas às patologias detetadas, sejam estas de origem natural ou humana; elaboração do relatório técnico de peritagem. (com recurso à termografia, equipamento de medição do teor de água em materiais de construção, equipamento de deteção e medição dos níveis de monóxido de carbono, equipamento de deteção de armaduras em elementos de betão armado e esclerómetro). [34] |
| IMODiag, Lda. | Rua Domingos José de Morais n.º 59 - 2º Escritório Esq. 2685-046 Sacavém 964 877 490 210 961 872 imodiag@imodiag.pt www.imodiag.pt | Inspeções técnicas a imóveis com o objetivo de diagnosticar todo o tipo de patologias, deficiências e anomalias da construção, com recurso à termografia, inspeção visual direta e ensaios diversos. [35] |

| | | |
|-------------------|---|--|
| Spybuilding | Sede Av. Miguel Bombarda 42, 5°C 1050-166 Lisboa 213 241 560 geral@spybuilding.com www.spybuilding.com | Levantamento visual e instrumental, apoiado em instrumentos de análise e medida, registo de todas as patologias, visíveis e invisíveis, presentes na construção; interpretação dos dados recolhidos, por técnicos especializados, apoiada nos <i>softwares</i> associados aos instrumentos de análise e medida, e no diagnóstico das causas possíveis para as patologias detetadas; elaboração de uma proposta de intervenção. (através da termografia e ensaios). [36] |
| ITEcons | Sede Pólo II da Universidade de Coimbra Rua Pedro Hispano, s/n 3030-289 Coimbra 239 79 89 49 / 239 79 89 29 itecons@itecons.uc.pt www.itecons.uc.pt | Investigação e Desenvolvimento, consultoria, medição e ensaio e unidade de avaliação técnica. (realiza todo o tipo de ensaios para deteção de anomalias na construção). [37] |
| Pilar estratégico | Rua 25 abril, 29A 2665-201 Malveira - Mafra 910 919 217 geral@pilarestrategico.pt www.pilarestrategico.pt | Estudos e peritagens no domínio do conforto térmico e higrométrico. Análise termográficas. Determinação e solução de patologias no domínio da térmica, humidades e infiltrações. Serviço de Inspeção Técnica de Edifícios ou de Diagnóstico Imobiliário (relatório técnico detalhado onde sejam elencadas de forma objetiva as patologias da construção, detetadas por meio de inspeção visual e meios de diagnóstico avançados, tais como a termografia por infravermelhos, entre outras). [38] |

Do ponto de vista académico, as referências a métodos de mapeamento de patologias em edifícios remetem para a observação visual direta e registo fotográfico, como é o caso de autores como Inês Flores e Jorge de Brito, no documento “Metodologias de Inspeção” [7]. Contrariamente, Vítor Córias no seu trabalho “Inspeções e Ensaio na Reabilitação de Edifícios” [19], indica a fotogrametria como ferramenta de mapeamento de patologias em edifícios.

A abordagem ao mapeamento das patologias em fachadas, quer pelas empresas, quer pelos autores referidos, apresenta-se redutora sob outro ponto de vista. Tendo em conta que os métodos descritos abordam exclusivamente o mapeamento na face exterior das fachadas, não há referências a patologias observáveis pela face interior, nem no interior do elemento fachada. Desta forma, não é identificada a possibilidade de correlação das patologias que ocorrem na totalidade do elemento construtivo em estudo.

Assim, a prática evidencia que as técnicas descritas se encontram aquém do que seria exigível para um mapeamento exaustivo, rigoroso e sustentável do ponto de vista económico.

2.5. SÍNTESE DE CAPÍTULO

Neste ponto, importa destacar os principais aspetos do presente capítulo: a reabilitação urbana nos centros históricos apresenta uma dinâmica razoável, ao invés dos edifícios mais recentes que denotam patologias precoces; as patologias das fachadas dos edifícios constituem um objeto de intervenção prioritário; das técnicas de mapeamento elencadas, constatou-se que, na prática, a sua aplicabilidade se limita à observação visual direta e através de levantamento fotográfico; não existe uma metodologia eficaz e rigorosa que permita o mapeamento e diagnóstico exigível nestes elementos construtivos.

A Fig. 2.22 representa um fluxograma que sintetiza este capítulo:

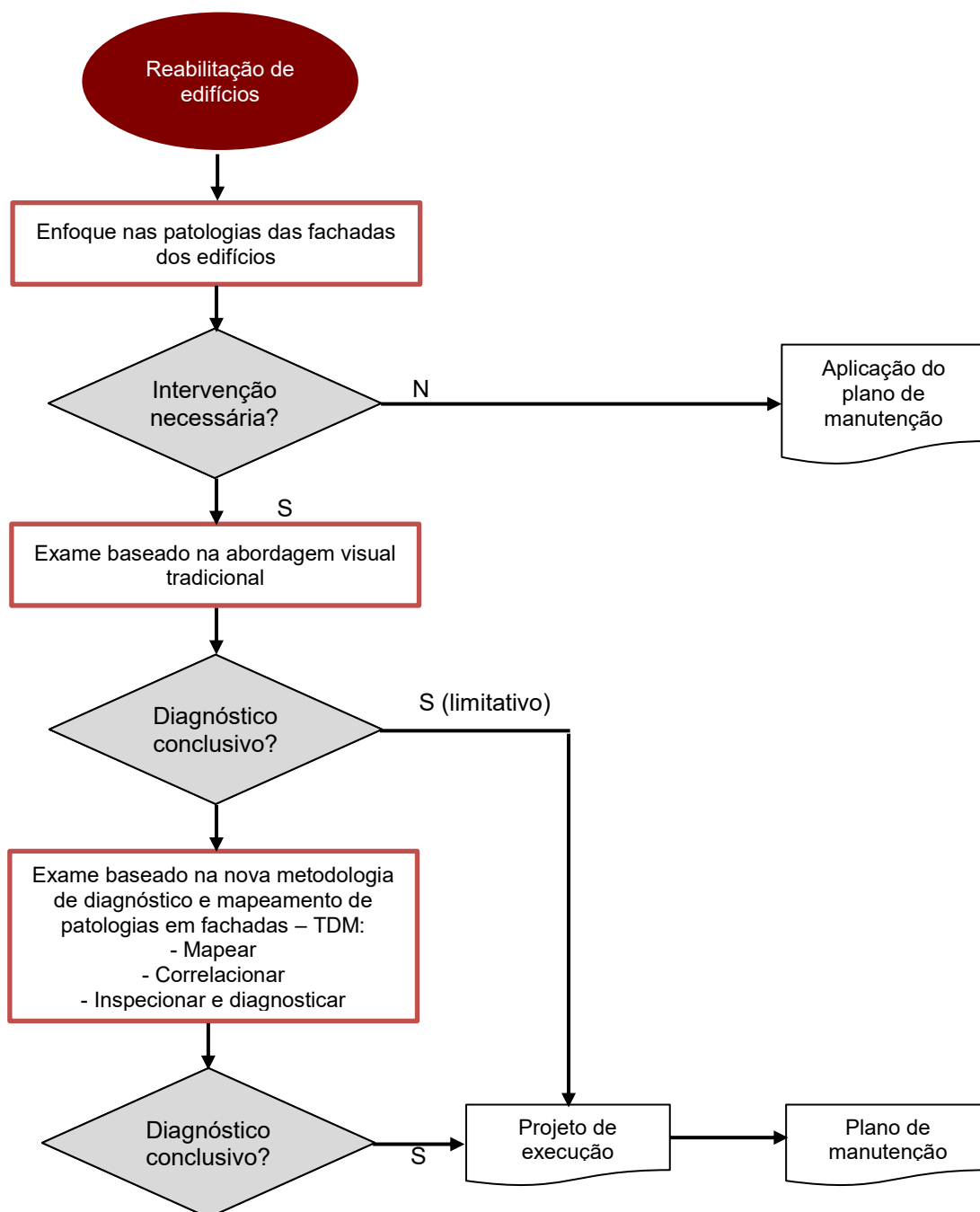


Fig. 2.22 – Fluxograma síntese

3

TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO DE PATOLOGIAS UTILIZADAS EM ENGENHARIA CIVIL

3.1. NOTA INTRODUTÓRIA

Apresentam-se no presente capítulo as técnicas de diagnóstico utilizadas em engenharia civil, cujos métodos de inspeção e ensaio possam ser aplicados na reabilitação de edifícios. A abordagem a este tema pretende-se sintética, não sendo objetivo a realização de uma análise crítica de cada técnica. Assim, para informações mais descritivas, sugere-se a consulta de literatura específica no âmbito deste tema, particularmente a tese de mestrado desenvolvida por Domingos de Abreu. [39]

De acordo com a pertinência do tipo de ensaio de cada técnica, o princípio que lhe está subjacente, a que elementos construtivos se adequa e a que questões procura responder (resistência, durabilidade, etc.), proceder-se-á à realização de uma avaliação das técnicas de diagnóstico apresentadas face à sua aplicabilidade na análise das patologias em fachadas.

Na listagem de técnicas de diagnóstico abordadas por Abreu [39], estas dividem-se em dez grupos, em função dos princípios que lhes servem de base. Atribuem-se códigos a cada uma, de acordo com o trabalho desenvolvido por Ana Tsou [40]:

Quadro 3.1 – Divisão técnicas de diagnóstico a respetivos códigos

| Técnicas de Diagnóstico | | Código |
|---------------------------------|---|---------|
| Técnicas de Percepção Sensorial | Técnica de Detecção Acústica de Insetos Xilófagos | TPS_IX |
| | Técnica de Inspeção Direta com Boroscópio | TPS_B |
| Técnicas de Ação Mecânica | Técnica de Ensaio com Dilatómetro | TAM_D |
| | Ensaio de Arrancamento por Tração – <i>Pull-off</i> | TAM-PO |
| | Ensaio de Resistência ao Impacto e Atrito – <i>Martinet Baronniet</i> ou Choque de Esfera | TAM-IA |
| | Ensaio Simples com Macaco Plano (Determinação do Estado de Tensão) | TAM_SMP |
| | Ensaio Duplo com Macacos Planos (Determinação da Deformabilidade) | TAM_DMP |
| | Ensaio Esclerométrico – Esclerómetro de <i>Schmidt</i> e Pendular | TAM_SeP |
| | Técnica de Avaliação da Integridade de Elementos de Madeira – <i>Resistograph</i> | TAM_R |

| | | |
|---|--|-----------------|
| | Técnica de Avaliação da Resistência de Argamassa – Método de Arrancamento de Hélice | TAM_ARA |
| | Técnica de Extração e Ensaio de Carotes | TAM_ECC |
| Técnicas de Propagação de Ondas Elásticas | Ensaio de Integridade de Estacas de Betão – Método Sónico | TPOE_MS |
| | Ensaio de Tomografia Sónica na Alvenaria para Identificação de Heterogeneidades e Deficiências | TPOE_TS |
| | Ensaio de Ultrassons | TPOE_U |
| Técnicas de Detecção e Análise das Vibrações | Análise e Monitorização de Vibrações em Estruturas | TDAV_MV |
| | Análise e Monitorização de Vibrações por meio de Microssismógrafo | TDAV_M |
| Técnicas de Reações Químicas e Eletroquímicas | Técnica da Resistência de Polarização (Taxa de Corrosão em Armaduras) | TRQE_RP |
| | Técnica de Avaliação da Profundidade de Carbonatação – Indicador de Fenolftaleína | TRQE_PC |
| | Técnica de Medição dos Potenciais Elétricos (Detecção da Corrosão Ativa em Armaduras) | TRQE_PE |
| | Técnica de Detecção do Teor de Sais – Kit de Campo e Fitas Colorimétricas | TRQE_TS |
| Técnicas de Propagação Radiação Eletromagnética | Prospecção Geofísica por Tecnologia de Radar | TPRE_TR |
| Técnicas de Inspeção Hidrodinâmica nos Materiais e Estruturas | Ensaio para Determinação da Absorção de Água por Capilaridade | TIHME_C |
| | Ensaio de Absorção de Água Sob Baixa Pressão – Tubo de <i>Karsten</i> | TIHME_TK |
| | Ensaio de Permeabilidade ao Vapor de Água | TIHME_PV |
| Técnicas de Efeitos Elétricos e Magnéticos | Ensaio Termográfico | TEEM_T |
| | Técnica Para Detecção de Armaduras e Avaliação do Diâmetro e Recobrimento | TEEM_DA |
| Técnicas Monitorização | Técnicas de Monitorização de Fissuras e Fendas – Fissurómetro | TM_FF |
| Técnicas de Inspeção Higrotérmica | Técnicas de Registo de Condições Higrotérmicas | TIH_H |
| | Ensaio de Condutibilidade Térmica | TIH_CT |
| | Ensaio de Pressurização - <i>Blower Door</i> | TIH_BD |
| | Ensaio de Variação Dimensional com a Humidade Relativa | TIH_HR |

3.2. TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO

3.2.1. TÉCNICAS DE PERCEÇÃO SENSORIAL (TPS_)

As técnicas de percepção sensorial são bastante simples, baseadas sobretudo na utilização dos sentidos humanos: a visão na observação direta da reação dos materiais nas zonas afetadas, a audição que permite captar a reação sonora obtida por percussão, o olfato na deteção de eventuais odores e, por fim, o tato através do toque na superfície dos materiais. [39, 40]

3.2.1.1. Técnica de Detecção Acústica de Insetos Xilófagos (TPS_IX)

O objetivo desta técnica consiste na deteção acústica de insetos xilófagos que existam no interior dos elementos em madeira, mesmo em fases iniciais de infestação, sem sinais exteriores da sua evidência.

Recorre à utilização de um aparelho de auscultação que permite *in situ* detetar a atividade dos insetos, recorrendo à captação, ampliação e gravação das ondas sonoras produzidos por estes. [39, 40]

3.2.1.2. Técnica de Inspeção Direta com Videoscópio (TPS_B)

Esta técnica recorre à utilização de um videoscópio, permitindo a inspeção visual de locais de difícil acesso, tais como o interior de fissuras, o interior de paredes duplas, o interior de tubagens, etc., com ou sem furação dos elementos construtivos. Através deste ensaio, realizado por um técnico ou uma equipa qualificada, é possível obter imagens perceptíveis dos locais referidos, que seriam impossíveis através da observação visual direta. [39, 40]



Fig.3.1 – Ensaio com videoscópio [41]

3.2.2. TÉCNICAS DE AÇÃO MECÂNICA (TAM_)

A presente técnica incide na ação mecânica sobre elementos estruturais, de revestimento ou na seleção dos materiais que mais se adaptam a esta ação. Pode ser realizada com recurso à remoção de partes do elemento construtivo, de forma generalizada ou pontual, através de dispositivos mecânicos, elétricos, hidráulicos ou eletromecânicos, cuja ação poderá ser mais ou menos intrusiva e com maior ou menor grau de destruição. [39, 40]

3.2.2.1. Técnica de Ensaio com Dilatómetro (TAM_D)

Através deste ensaio é possível determinar as características internas da deformabilidade do material, recorrendo à aplicação de uma pressão hidrostática. A água presente no interior de uma sonda dotada de um corpo rígido cilíndrico envolvido por uma membrana de borracha exerce uma pressão que atua sobre as paredes de um orifício de secção circular previamente aberto. Desta forma, é possível quantificar o módulo de elasticidade da área analisada, através da medição dos deslocamentos ocorridos na respetiva área. [39, 40]

3.2.2.2. Ensaio de Arrancamento por Tração – Pull-off (TAM_P-O)

O presente ensaio traduz-se numa técnica destrutiva realizada *in situ*, que permite avaliar a aderência dos revestimentos ao suporte, tais como argamassas de revestimento, estuques, ladrilhos cerâmicos, e tintas, quer em casos de estarem aplicados em elementos construtivos de betão armado, quer aplicados em alvenaria. Com o objetivo de estimar o grau de aderência entre as camadas dos materiais, consegue-se, assim, avaliar as camadas que apresentam problemas de aderência ao suporte. [39, 40]

3.2.2.3. Ensaio de Resistência ao Impacto e Atrito – *Martinet Baronnie* ou Choque de Esfera (**TAM_IA**)

Este ensaio consiste em medir a resistência ao choque pelo impacto de uma esfera contra a superfície do elemento construtivo, a partir do diâmetro da massa e do tipo de degradação resultante, fornecendo informações sobre a deformabilidade do revestimento. Face à degradação que resulta da aplicação deste ensaio, este considera-se destrutivo. Este ensaio adequa-se, também, a revestimentos de ladrilhos cerâmicos, permitindo verificar se estes se encontram descolados ou assentes em zonas ocas na camada de assentamento, mesmo nos casos onde não se verifique empolamento. [39, 40]



Fig.3.2 – Ensaio de choque de esfera e penetração controlada [42]

3.2.2.4. Ensaio Simples com Macaco Plano (Determinação do Estado de Tensão) (**TAM_SMP**)

Permite determinar o estado de tensão de paredes e outros elementos estruturais de alvenaria. Realizada *in situ* ou em laboratório, este ensaio possibilita avaliar algumas características mecânicas das alvenarias. Baseando-se na realização de um corte horizontal que permita a introdução do macaco plano na direção perpendicular ao plano da parede em estudo, este ensaio revela-se pouco destrutivo. [39, 40]

3.2.2.5. Ensaio Duplo com Macacos Planos (Determinação da Deformabilidade) (**TAM_DMP**)

À semelhança do ensaio simples com macaco plano, esta técnica possibilita determinar a deformabilidade de paredes e outros elementos estruturais de alvenaria, acrescido da possibilidade de aplicação em modelos construídos em laboratório. A dimensão da amostra com este tipo de ensaio é superior, sendo possível a análise da deformabilidade nas direções vertical e horizontal. [39, 40]

3.2.2.6. Ensaio Esclerométrico – Esclerómetro de *Schmidt* e Pendular (**TAM_SeP**)

O ensaio esclerométrico avalia a dureza superficial ou compara a qualidade dos materiais, preferencialmente de elementos de betão, mas também de argamassas. Este tipo de ensaios realiza-se *in situ* ou em laboratório, sendo possível quantificar a tensão de rotura à compressão (de provetes cúbicos ou cilíndricos). Através de dois tipos de aparelhos: [39, 40]

- O martelo de *Schmidt*, que se baseia no método do ressalto e consiste no lançamento de uma massa contra a superfície em estudo e a respetiva medição do ressalto observado. Esse ressalto resulta num valor numérico que quantifica o grau de dureza do material.
- O esclerómetro pendular parte do mesmo princípio de funcionamento, mas com a vantagem de aplicação a materiais de dureza inferior.

Este ensaio é particularmente útil para avaliar a homogeneidade do betão.



Fig.3.3 – Ensaio esclerométrico num elemento de betão [43]

3.2.2.7. Técnica de Avaliação da Integridade de Elementos de Madeira – *Resistograph* (TAM_R)

Esta técnica recorre à utilização de um aparelho, o *Resistograph*, que permite detetar defeitos internos, variações de densidade e secções dos elementos estruturais, através de uma perfuração praticamente impercetível, apresentando, assim, um interesse particular da sua aplicação em estruturas em serviço, principalmente quando estas possuem grande valor patrimonial. [39, 40]

3.2.2.8. Técnica de Avaliação da Resistência de Argamassa – Método de Arrancamento de Hélice (TAM_ARA)

Através do equipamento necessário para a realização desta técnica – berbequim de percussão, broca de 4,5 mm, ancoragens de tipo *retro-tie*, com respetivo acessório de cravação e dispositivo de arrancamento -, é possível determinar a resistência da argamassa de assentamento ou de refechamento de juntas. Para tal é necessário dispor de resultados de ensaios de calibração. Tratando-se de uma avaliação realizada *in situ*, pode ser utilizada em obra, tanto para efeitos de controlo de qualidade como de diagnóstico. [39, 40]

3.2.2.9. Técnica de Extração e Ensaio de Carotes (TAM_EEC)

Utilizada para se determinar as características de resistência do betão já aplicado em obra, esta técnica recorre à recolha de provetes de pequeno diâmetro (≥ 5 cm) para se proceder a ensaios de rotura à compressão. Os carotes devem ser extraídos com uma máquina de corte rotativo dotada de coroas com dentes de diamante, devendo ser realizados de modo a introduzir a menor perturbação possível nas amostras. Contudo, os carotes só deverão ser extraídos após uma análise estrutural, com o objetivo de se determinar quais os locais mais apropriados para a obtenção de uma boa distribuição de tensões. [39]

3.2.3. TÉCNICAS DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS ELÁSTICAS (TPOE_)

As técnicas de propagação de ondas elásticas assentam na deteção, medição ou análise das vibrações provocadas nas construções ou elementos construtivos, sendo avaliada a forma de propagação das ondas elásticas nesses elementos. [39, 40]

3.2.3.1. Ensaio de Integridade de Estacas de Betão – Método Sónico (TPOE_MS)

Este método, realizado *in situ*, consiste na análise das condições de propagação de ondas elásticas no fuste das estacas de betão, analisando a deteção de defeitos e discontinuidades que se manifestem significativos na função que exercem. Tratando-se de um ensaio não destrutivo, permite estimar o módulo de elasticidade e da resistência à compressão, bem como a homogeneidade das características dos materiais constituintes, a presença de fendas no material contínuo e ainda a presença e efeitos de reforços anteriormente realizados. [39, 40]

3.2.3.2. Ensaio de Tomografia Sónica na Alvenaria para Identificação de Heterogeneidades e Deficiências (TPOE_TS)

Através da utilização da tomografia sónica, é possível obter um mapa pormenorizado da distribuição da velocidade de propagação do som numa secção plana da estrutura em estudo. Desta forma, o equipamento mede a velocidade de propagação de um impulso sónico ao longo de diversas direções, mapeando uniformemente toda a área em estudo. Com recurso ao método de inversão, é realizado o cálculo do tempo de propagação do som, que irá permitir identificar as heterogeneidades e as áreas de resistência deficiente. [39, 40]

3.2.3.3. Ensaio de Ultrassons (TPOE_U)

Aplicado à caracterização de paredes, o ensaio de ultrassons recorre a sons de baixa frequência, com maior energia e menor atenuação que os de alta frequência, sendo possível avaliar a uniformidade da alvenaria (delimitando *in situ* as zonas de qualidade inferior ou deterioradas) a partir de impulsos ultrassónicos, estimando inclusive as propriedades mecânicas da parede. Este ensaio permite também avaliar as estruturas de madeira, correlacionando o seu valor com o módulo de elasticidade estático e com a resistência mecânica do elemento de madeira ensaiado. [39, 40]

3.2.4. TÉCNICAS DE DETEÇÃO E ANÁLISE DAS VIBRAÇÕES (TDAV_)

Estas técnicas suportam-se na monitorização e análise das vibrações das estruturas, quando sujeitas a ações dinâmicas. Genericamente, a sua análise é realizada de duas formas: [39, 40]

- Análise de dados da resposta dinâmica da construção a solicitações dinâmicas impostas pela envolvente (passagem de automóveis, metro), por equipamentos mecânicos (ar condicionado, extratores de ar, etc.), ou por vibrações causadas pela presença de obras nas proximidades;
- Aplicação de solicitações dinâmicas à construção, resultando em níveis de vibração forçada sem afetar a sua integridade.

3.2.4.1. Análise e Monitorização de Vibrações em Estruturas (TDAV_MV)

Tratando-se de um ensaio não destrutivo, este permite avaliar e/ou acompanhar *in situ* o comportamento dinâmico do edifício, em particular, a sua resistência à solicitação sísmica. Torna-se igualmente útil na preparação de obras de reabilitação, permitindo selecionar as medidas corretivas mais adequadas. [39]

Pode ser realizado de acordo com duas variantes:

- Análise de dados na resposta dinâmica do edifício às solicitações impostas pela envolvente;
- Análise da resposta do edifício à aplicação de vibrações forçadas.

3.2.4.2. Monitorização das Vibrações por Meio de Microsismógrafo (TDAV_M)

Recorrendo a um aparelho denominado microsismógrafo, pretende-se através desta técnica monitorizar as vibrações provocadas pela atividade humana, pelo trânsito rodoviário, por maquinaria em funcionamento, entre outras. Tem como objetivo prevenir os efeitos secundários associados às vibrações referidas, assegurando o cumprimento da legislação aplicável. [39, 40]

3.2.5. TÉCNICAS DE REAÇÕES QUÍMICAS E ELETROQUÍMICAS (TRQE_)

As técnicas de reações químicas e eletroquímicas subdividem-se em dois tipos:

- Num tipo observam-se as reações químicas que ocorrem nos elementos em estudo;
- No outro tipo observam-se os fenómenos de natureza eletroquímica que ocorrem em elementos de construção de forma espontânea ou resultantes de perturbações introduzidas.

No primeiro caso, utilizam-se indicadores ou reagentes por contacto com os materiais que constituem os elementos, caracterizando esses materiais e o seu estado de equilíbrio químico. No caso dos fenómenos eletroquímicos, regista-se o grau de corrosão dos metais em geral, e, em particular, a do aço que constitui as armaduras de betão armado. [39, 40]

A presença de fissuras e defeitos, de compacidade do betão ou recobrimento insuficiente contribuíram para a degradação mais acentuada destes elementos, que ocorre através da carbonatação do betão armado, que leva à despassivação das armaduras e consequente oxidação.

3.2.5.1. Técnica da Resistência de Polarização (Taxa de Corrosão em Armaduras) (TRQE_RP)

Esta técnica realiza-se quer *in situ* quer em laboratório, permitindo quantificar a taxa de corrosão das armaduras em elementos de betão armado. Assim, possibilita a caracterização do comportamento da corrosão e o acompanhamento da evolução do seu grau, informando a tendência para a despassivação. Esta técnica pode ser aplicada independentemente da idade do edifício. [39, 40]

3.2.5.2. Técnica de Avaliação da Profundidade de Carbonatação – Indicador de Fenolftaleína (TRQE_PC)

A carbonatação é um fenómeno que ocorre no betão através da penetração nos poros de betão, do dióxido de carbono presente na atmosfera, reagindo com o hidróxido de cálcio, dando origem a carbonato de cálcio e água. Esta reação leva à redução da alcalinidade do betão, desencadeando-se, assim, a despassivação das armaduras de aço, contribuindo para o início da sua corrosão. O indicador de fenolftaleína, aplicado sob a forma de solução na superfície em análise, permite identificar através da coloração que toma a presença de CaCO_3 (carbonato de cálcio), comparando-se a coloração obtida com uma escala de cores que indicará o grau de carbonatação. [39, 40]



Fig.3.4 – Determinação da profundidade de carbonatação [43]

3.2.5.3. Técnica de Medição dos Potenciais Elétricos (Deteção da Corrosão Ativa em Armaduras) (TRQE_PE)

Técnica de realização *in situ*, esta técnica contribui para a identificação das áreas onde a corrosão está presente ou prestes a verificar-se. Assim, conseguem detetar-se as áreas onde o betão armado necessita de reparação ou simplesmente de proteção. Desde que realizada com frequência, possibilita acompanhar a evolução do estado de corrosão. [39, 40]

3.2.5.4. Técnica de Deteção do Teor de Sais – Kit de Campo e Fitas Colorimétricas (TRQE_TS)

A necessidade da deteção de teor de sais num elemento construtivo surge da necessidade de identificar as eflorescências – compostos cristalinos que se formam à superfície ou nas camadas internas do revestimento – que surgem por ações físico-químicas derivadas da presença de água. Estes sais, muitas vezes nocivos para os elementos construtivos, afetam a aparência exterior das construções, originando degradação física e química dos materiais, através da cristalização dos sais. A técnica de diagnóstico utilizada para a caracterização desta anomalia recorre a dois tipos de ensaios: [39, 40]

- Kit de campo;
- Fitas colorimétricas.

Sendo ambas técnicas realizadas *in situ*, o kit de campo utiliza o espectrofotómetro na determinação das concentrações por processo colorimétrico. O ensaio através das fitas colorimétricas permite a análise da presença de cada ião, por comparação visual entre a cor obtida na banda de deteção e a escala de referência, que acompanha a embalagem onde são fornecidas as bandas de deteção. [39, 40]

3.2.6. TÉCNICAS DE PROPAGAÇÃO DE RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA (TPRE_)

A radiação eletromagnética utilizada nas técnicas de diagnóstico caracteriza-se fundamentalmente pela sua frequência, comprimento de onda ou energia transportada. Assim, a radiação que incide num corpo sólido pode, em parte, atravessá-lo ou ser refletida. Em ambos os casos, as características da radiação incidente alteram-se em função das propriedades físicas do material – densidade, porosidade, permeabilidade, condutividade, etc. Há, também, a possibilidade de a energia transportada pela radiação incidente se acumular no material, sendo refletida sob a forma de uma radiação de diferentes características. A informação recolhida sobre os materiais em estudo dependerá das várias formas como a radiação será aplicada e da forma como esta interage com os materiais. [39, 40]

3.2.6.1. Prospeção Geofísica por Tecnologia de Radar (TPRE_TR)

Caracterizada pela utilização da tecnologia de radar na banda de frequências dos 100 MHz aos 2 GHz, esta técnica permite analisar a natureza e o estado dos elementos existentes abaixo da superfície visível em paramentos verticais – deteção de tubagens, canalizações, humidades, etc. – e em estruturas horizontais – cavidades, antigas fundações, espessura do enchimento e da parte resistente dos pavimentos, etc. Assim, a energia refletida nas sucessivas interfaces, em simultâneo com o movimento da antena, o registador gráfico efetua um registo contínuo espaço/tempo, no qual são visíveis os traços das diferentes reflexões, ou seja, das anomalias da resposta. A interpretação das imagens registadas pode ser facilitada, através do tratamento destas em computador e através da elaboração de perfis tridimensionais dos locais analisados. [39, 40]

3.2.7. TÉCNICAS DE INSPEÇÃO HIDRODINÂMICA NOS MATERIAIS E ESTRUTURAS (TIHME_)

O estudo do modo como a água, em diferentes estados físicos, penetra e se movimenta no interior dos materiais de construção, através de processos de absorção, capilaridade e permeabilidade associada a variações de pressão, pode ser obtido através das técnicas agrupadas neste item. [39, 40]

3.2.7.1. Ensaio para Determinação da Absorção de Água por Capilaridade (TIHME_C)

Orientada para o estudo da avaliação da durabilidade de estruturas em betão armado, através do estudo dos mecanismos de transporte de líquidos no interior do betão, este ensaio permite observar a condução de substâncias prejudiciais que poderão levar à corrosão das armaduras, através da despassivação do aço provocada pela penetração no betão de agentes agressivos, nomeadamente em ambientes adversos. [39]

Sendo a capilaridade a ação pela qual um material absorve um líquido (água) por sucção, quando em contacto com esse mesmo líquido, no caso do betão através da sua rede capilar e dependendo desta, facilmente se percebe que quanto menor for a absorção do material, mais protegida se encontra a estrutura. [44]

3.2.7.2. Ensaio de Absorção de Água Sob Baixa Pressão – Tubo de *Karsten* (TIHME_TK)

Este ensaio recorre ao tubo de *Karsten* para avaliar *in situ* ou em laboratório a resistência que um material oferece à absorção de água líquida presente na superfície do elemento em análise. Frequentemente utilizada em revestimentos e em paredes, tem os seguintes objetivos: [39, 40]

- Determinar a permeabilidade à água líquida em edifícios com revestimentos de base em ligantes minerais ou mistos;
- Avaliar a capacidade de impermeabilização dos revestimentos dos paramentos verticais;
- Estimar o grau de degradação do revestimento;
- Determinar o grau de proteção de um tratamento hidrófugo quando aplicado nos materiais, avaliando o seu grau de eficácia ao longo do tempo;
- Comparar os resultados obtidos em diferentes tipos de revestimentos e avaliar a influência do tipo de acabamento aplicado em cada um.

Desta forma, o nível de permeabilidade quantificado através deste ensaio poderá ser utilizado na caracterização qualitativa do tipo de revestimento e estimar o seu grau de degradação, com recurso a comparações com estudos efetuados anteriormente.



Fig.3.5 – Ensaio com Tubo de *Karsten* [42]

3.2.7.3. Ensaio de Permeabilidade ao Vapor de Água (TIHME_PV)

A determinação da permeabilidade ao vapor de água de materiais e elementos de construção, tem apoio teórico na lei de *Fick*. Este ensaio consiste em colocar o provete do material ou elemento que se procura analisar entre dois ambientes à mesma temperatura, mas com pressões parciais de vapor diferentes, criando assim um gradiente de pressões entre as suas faces, originando uma corrente de fluxo de vapor de água através do provete. Conhecendo o gradiente de pressões parciais existentes no provete e as suas dimensões, e calculando o fluxo de difusão em regime estacionário, podem determinar-se as características de permeabilidade ao vapor de água do material ou elemento em estudo. [44]

3.2.8. TÉCNICAS DE EFEITOS ELÉTRICOS E MAGNÉTICOS (TEEM_)

Em determinadas situações, a inspeção de edifícios suporta-se em equipamentos que relacionam eletricidade com magnetismo, possibilitando o aproveitamento de dois efeitos para este fim: a relutância magnética e as correntes induzidas. [39, 40]

Relativamente à relutância magnética, esta trata da resistência ao fluxo magnético entre dois polos, que se estabelece quando uma corrente percorre uma bobine elétrica dá origem um campo magnético. Este efeito admite detetar as armaduras, através da utilização de uma bobine de excitação, que ao ser percorrida por uma corrente alterna, induz um fluxo magnético, que será aumentado quando está presente um elemento ferromagnético que reduz a relutância magnética. Uma segunda bobine (bobine sensor) deteta esse incremento de fluxo. [39, 40]

Por sua vez, o efeito de correntes induzidas permite igualmente detetar armaduras, através da corrente alterna percorridas em bobines que geram um campo magnético, quando na proximidade de uma barra condutora, originando nesta um conjunto de correntes induzidas. Estas correntes, originam um campo magnético secundário na bobine e, dessa forma, uma corrente secundária. Assim, a proximidade de uma barra condutora altera a corrente que percorre a bobine, aumentando a impedância aparente desta, sendo detetada pelo equipamento. [39, 40]

3.2.8.1. Ensaio Termográfico (TEEM_T)

O ensaio termográfico, citado no subcapítulo anterior como uma potencial técnica de mapeamento de patologias em fachadas, possibilita avaliar *in situ* ou em laboratório, recorre a câmaras termográficas de radiação infravermelha, possibilitando a deteção de diferentes tipos de patologias, provocadas sobretudo por problemas associados ao isolamento térmico, fluxos de calor devidos a pontes térmicas, problemas de humidades, descontinuidades ocultas, fugas de calor e ainda avaliar o estado do revestimento das paredes nos casos de formação de bolhas de ar na pintura ou destacamento de elementos cerâmicos. A sua principal potencialidade é a possibilidade da sua aplicação em fase pós ocupação, para avaliação do desempenho em serviço, possibilitando a manutenção preventiva. [39, 40]

3.2.8.2. Técnica Para Deteção de Armaduras e Avaliação do Diâmetro e Recobrimento (TEEM_DA)

O objetivo desta técnica é medir o recobrimento, detetar a posição, as dimensões e a disposição das armaduras de aço, tanto em estruturas de betão armado, como pré-esforçado, de forma não destrutiva. Com recurso a aparelhos específicos para a função, a determinação de armaduras em elementos de betão pré-esforçado apresenta maiores limitações, dadas as características próprias desses elementos resistentes e dadas as capacidades do equipamento. [39, 40]

3.2.9. TÉCNICAS DE MONITORIZAÇÃO (TM_)

A monitorização das construções ao longo do seu período de vida útil, mais especificamente dos seus elementos construtivos, requer a recolha de informações acerca do seu desempenho, possibilitando uma correta manutenção das mesmas.

Através das informações recolhidas e devidamente registadas, torna-se possível uma abordagem a eventuais patologias detetadas. Por este motivo, as técnicas de monitorização devem ser aplicadas desde logo no primeiro contacto com a construção em análise, em paralelo com as “*Técnicas de Percepção Sensorial*”. [39, 40]

3.2.9.1. Técnicas de Monitorização de Fissuras e Fendas – Fissurómetro (TM_FF)

Uma das anomalias mais comuns nas construções são as fissuras, resultantes habitualmente de assentamentos diferenciais de fundações, variações de temperatura, alteração das solicitações, execução de obras junto às construções existentes, entre outras. Por intermédio de um aparelho denominado de fissurómetro, um instrumento simples utilizado para medir, de forma expedita, os movimentos relativos que se verificam num ponto de uma fissura ou fenda existente num pano de alvenaria, pavimento ou qualquer outro elemento estrutural da construção. [39, 40]

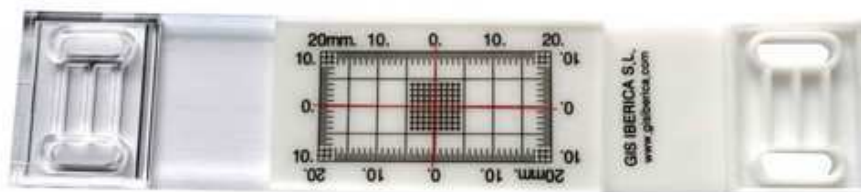


Fig.3.6 – Fissurómetro [45]

3.2.10. TÉCNICAS DE INSPEÇÃO HIGROTÉRMICA (TIH_)

As técnicas apresentadas neste grupo não se enquadram nas técnicas referidas anteriormente, cujos princípios e/ou disciplinas não possuem um enquadramento comum com as anteriores.

3.2.10.1. Técnicas de Registo de Condições Higrotérmicas (TIH_H)

Sendo a temperatura e a humidade relativa do ar dois fatores que condicionam a percepção do conforto higrotérmico e a saúde dos indivíduos, a sua monitorização assume contornos importantes, nomeadamente ao nível da monitorização destes parâmetros no interior das habitações. Outro fator importante relacionado com os parâmetros referidos é o consumo energético que pode ser requerido para compensar as temperaturas inferiores às desejáveis no interior dos espaços. [39, 40]

A humidade relativa (HR) representa a relação entre a massa de vapor contida no ar e a quantidade máxima de vapor que o ar pode conter, a uma determinada temperatura. O seu valor é dado pela relação entre a massa de vapor de água e a massa de vapor de água de saturação, sendo expressa em percentagem. [44]. O seu valor depende sobretudo da temperatura, porque para uma dada quantidade constante de vapor de água no ar, a humidade relativa aumenta se a temperatura descer e diminui se a temperatura aumentar. Esta conclusão pode ser observada através do Diagrama Psicométrico.

3.2.10.2. Ensaio de Condutibilidade Térmica (TIH_CT)

Para a avaliação da condutibilidade térmica de um material, os métodos mais utilizados são o de *Guarded-Hot-Plate* e o de Choque térmico. [39, 40]

O coeficiente de condutibilidade térmica (λ) de um material representa a quantidade de calor que atravessa perpendicularmente um provete desse material com faces planas e paralelas, por unidade de tempo e espessura, quando sujeito a um gradiente de temperatura unitário entre as duas faces, sendo expresso em $W/(m.^{\circ}C)$ ou em $W/(m.K)$. [44]

3.2.10.3. Ensaio de Pressurização - *Blower Door* (TIH_BD)

Este ensaio realizado *in situ*, apresenta como objetivo a caracterização da permeabilidade ao ar da envolvente de um edifício ou parte deste, permitindo obter diversas análises e diagnósticos relativos a infiltrações como:

- Verificação da conformidade da permeabilidade ao ar de acordo com a regulamentação em vigor;
- Comparação da permeabilidade relativa ao ar entre edifícios e/ou compartimentos;
- Determinar os coeficientes característicos da permeabilidade ao ar da envolvente, resultante de obras de melhoria.

Com recurso a uma “porta ventiladora”, um mecanismo constituído por uma capa de nylon ajustada à moldura de uma porta sem que existam quaisquer folgas e a abertura de um orifício específico para a ligação de um ventilador. Pretende-se que o espaço interior seja, desta forma, pressurizado e/ou despressurizado com um caudal de ar regulável, registando-se o caudal necessário para gerar um gradiente de pressão entre o espaço exterior e o interior, que pode variar entre 10 Pa e 60 Pa. [39, 40]

3.2.10.4. Ensaio de Variação Dimensional com a Humidade Relativa (TIH_HR)

O presente ensaio foi desenvolvido no LFC-FEUP, permite estudar a variação dimensional de materiais de construção com a humidade relativa. O protótipo desenvolvido efetua a recolha automática de dados de um conjunto de equipamentos de medida, reduzindo a dificuldade presente nas leituras cíclicas e problemas de precisão. A sua pertinência prende-se com a importância da variação dimensional dos materiais de construção, através da qual se caracterizam os seus comportamentos, nomeadamente no que concerne ao desempenho face à humidade relativa e à durabilidade, após estes serem aplicados em diferentes tipos de edifícios. [39, 40]

3.3. AVALIAÇÃO DAS TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO UTILIZADAS EM ENGENHARIA CIVIL FACE À SUA APLICABILIDADE NA ANÁLISE DAS PATOLOGIAS EM FACHADAS

Após a apresentação das técnicas de diagnóstico comumente utilizadas em Engenharia Civil, segue uma análise crítica baseada na avaliação da aplicabilidade de cada uma das técnicas aos seguintes elementos: estrutura, envolvente opaca, envolvente transparente e pontos singulares, expressas no Quadro 3.2.

Quadro 3.2 – Aplicabilidade das técnicas de diagnóstico a fachadas

| Componente – Fachadas | | | | | | |
|-----------------------|----------|-----------|------------------|---------------|-------------------|--|
| Código da técnica | | Estrutura | Envoltente opaca | | | Pontos singulares Peitoris, juntas dilatação/cunhal, cx estores, saliências, corpos consola/balanço |
| | | | Face exterior | Face interior | Elementos ocultos | |
| TPS | TPS_IX | | | • | | • |
| | TPS_B | • | • | • | • | |
| TAM | TAM_D | • | | | | • |
| | TAM-PO | | • | • | | • |
| | TAM-IA | | • | • | | • |
| | TAM_SMP | • | | | | • |
| | TAM_DMP | • | | | | • |
| | TAM_SeP | | • | • | | • |
| | TAM_R | | | • | | • |
| | TAM_ARA | | • | • | | • |
| | TAM_ECC | • | | | | • |
| | TPOE_MS | | | | | |
| TPOE | TPOE_TS | | | | | |
| | TPOE_U | • | | | | • |
| TDAV | TDAV_MV | • | | | | • |
| | TDAV_M | • | | | | • |
| TRQE | TRQE_RP | • | • | | | • |
| | TRQE_PC | • | • | | | • |
| | TRQE_PE | • | • | | | • |
| | TRQE_TS | | • | | | • |
| TPRE | TPRE_TR | • | | | • | |
| TIHME | TIHME_C | • | • | | | • |
| | TIHME_TK | • | • | | | • |
| | TIHME_PV | • | • | • | • | |
| TEEM | TEEM_T | • | • | • | • | |
| | TEEM_DA | • | | | • | • |
| TM | TM_FF | | • | • | | • |
| TIH | TIH_H | | | • | • | |
| | TIH_CT | | | • | • | |
| | TIH_BD | | | • | | • |
| | TIH_HR | • | • | • | | • |

4

DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA DE DIAGNÓSTICO E MAPEAMENTO DE PATOLOGIAS EM FACHADAS – TDM

4.1. OBJETIVOS

Este capítulo perspetiva a criação de uma metodologia de diagnóstico e mapeamento de patologias em fachadas – TDM -, suportada em ferramentas de mapeamento de patologias e aplicação de técnicas de diagnóstico correntes. Ambiciona-se que a técnica desenvolvida permita, de uma forma remota, a identificação inequívoca e rigorosa das patologias das fachadas dos edifícios.

A metodologia proposta desenvolve-se em três ações:

- i. Mapear as patologias;
- ii. Correlacionar as patologias;
- iii. Inspeccionar e diagnosticar as patologias.

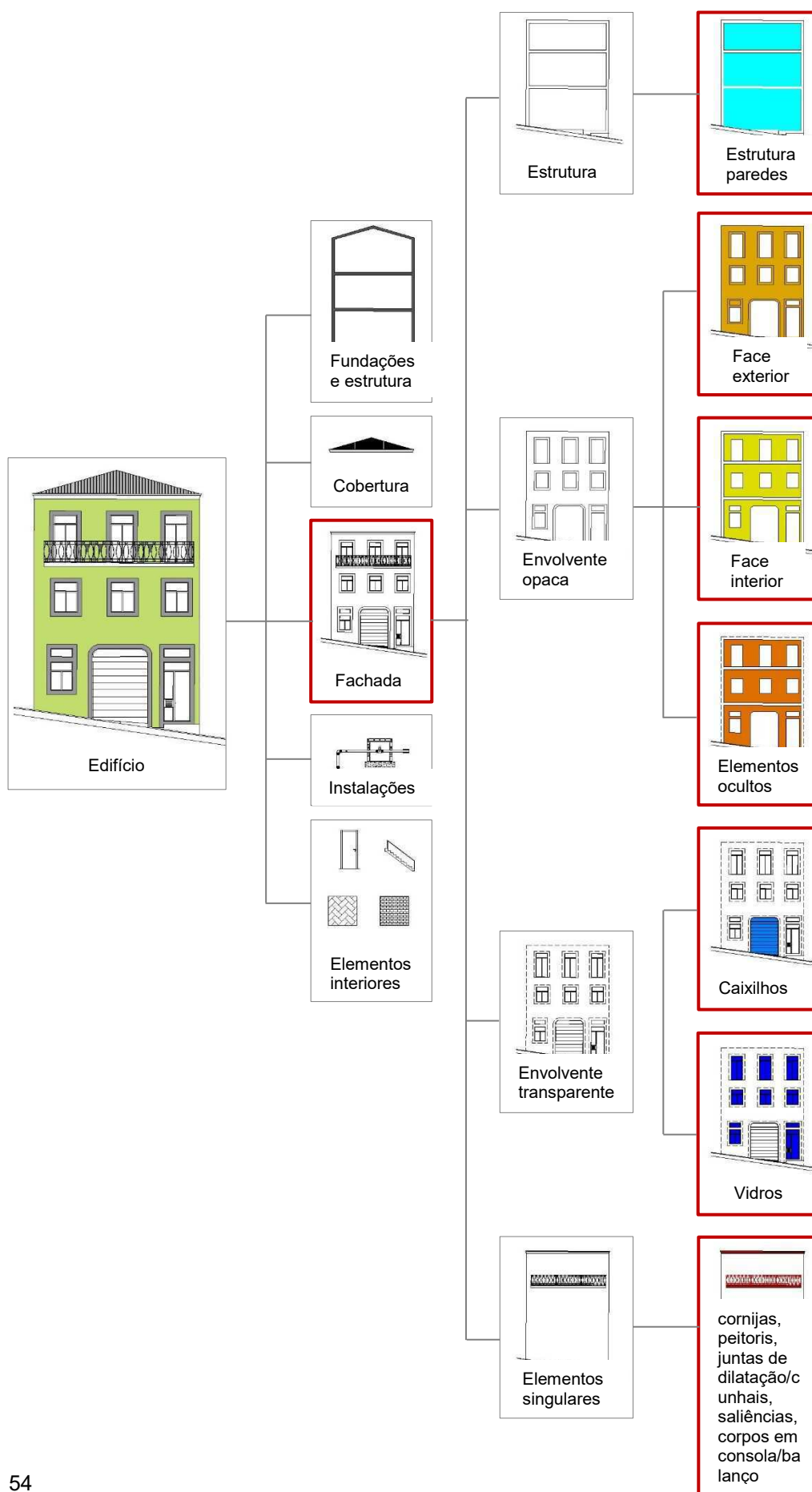
É exigível que esta metodologia não se limite ao modo como os dados possam ser recolhidos e ao tipo de técnicas de diagnóstico a utilizar, mas que seja seletiva no tipo de dados a recolher, permitindo correlacionar os dados obtidos.

Desta forma, centrando-se o objeto de estudo nas patologias das fachadas, sugere-se a observação deste elemento em três níveis:

- Patologias visíveis na face exterior (envolvente opaca, envolvente transparente – caixilhos e vidros - e elementos singulares);
- Patologias visíveis na face interior (envolvente opaca).
- Patologias não visíveis (estrutura e envolvente opaca – elementos ocultos);

Apresenta-se de forma esquemática na Fig. 4.1. a decomposição da fachada de acordo com os componentes que a constituem.

Fig. 4.1 – Identificação do elemento e componentes a analisar



Desta forma, pretende-se analisar as fachadas dos edifícios, recorrendo ao registo de informação sobre:

- O historial de intervenções;
- As patologias visíveis na face exterior da envolvente opaca dos edifícios, envolvente transparente (caixilhos e vidros) e elementos singulares (cornijas, peitoris, juntas de dilatação/cunhais, saliências e corpos em consola/balanço), através da visualização em escala real de imagens panorâmicas de alta resolução;
- As patologias visíveis na face interior da envolvente opaca, através da visualização em escala real de imagens panorâmicas de alta resolução e/ou de fotografias de pormenor;
- As patologias não visíveis na envolvente opaca (elementos ocultos) e na estrutura (estrutura das paredes), suportadas nos dados fornecidos através da termografia, e de análise higrotérmica com recurso a equipamentos e *softwares* específicos para a função;
- Os resultados obtidos com as técnicas de ensaio utilizadas em cada patologia em função do componente em estudo e a informação recolhida com eventuais sondagens;
- A eventual influência dos elementos estruturais na origem das patologias;

Com o presente registo, tenciona-se elaborar graficamente um mapa de patologias, recorrendo à utilização do *software* Autocad, desenvolvendo um registo gráfico, através da sobreposição de *layers*, contendo a seguinte informação:

- *Layer* com as imagens panorâmicas de alta resolução (*Gigapixel*);
- *Layer* com os alçados do edifício;
- *Layers* com as patologias visíveis na face exterior da envolvente opaca, envolvente transparente (caixilhos e vidros) e elementos singulares (cornijas, peitoris, juntas de dilatação/cunhais, saliências e corpos em consola/balanço), obtidas através de imagens panorâmicas de alta resolução;
- *Layers* com as patologias visíveis na face interior da envolvente opaca, obtidas através de imagens panorâmicas de alta resolução e/ou fotografias de pormenor;
- *Layers* com as patologias não visíveis na envolvente opaca (elementos ocultos), obtidas através de imagens termográficas e com recurso à análise higrotérmica do elemento;
- *Layer* com a estrutura resistente do edifício localizada na fachada do edifício (pilares, vigas e topos de lajes);
- *Layer* com o registo gráfico do historial de intervenções.

Para a identificação de cada uma das patologias associada a cada *layer*, foi desenvolvido um código para cada situação, no quadro 4.1:

Quadro 4.1 – Códigos de patologias e *Layers*

| Patologias visíveis na face exterior da envolvente opaca, envolvente transparente (caixilhos e vidros) e elementos singulares (cornijas, peitoris, juntas de dilatação/cunhais, saliências e corpos em consola/balanço) | Código | Cor <i>layer</i> | Trama |
|--|---------------|-------------------------|--------------|
| Deficiências de planeza do revestimento | E1 | 14 | ANSI 31 |
| Fissuração ou descamação do vidrado de ladrilho | E2 | 10 | ANSI 31 |
| Esmagamento ou lascagem nos bordos de ladrilho | E3 | 11 | ANSI 31 |
| Enodoamento, alteração de cor ou de brilho de ladrilho | E4 | 15 | ANSI 31 |
| Riscagem ou desgaste de ladrilhos/placas pétreas | E5 | 34 | ANSI 31 |
| Fissuração/deterioração de juntas de ladrilhos | E6 | 30 | ANSI 31 |
| Fissuração sem orientação preferencial – craquelê | E7 | 31 | ANSI 31 |
| Fissuração predominantemente vertical | E8 | 35 | ANSI 31 |

| | | | |
|--|-----|-----|---------|
| Fissuração predominantemente horizontal | E9 | 134 | ANSI 31 |
| Fissuração predominantemente inclinada | E10 | 130 | ANSI 31 |
| Desagregação dos materiais porosos | E11 | 131 | ANSI 31 |
| Alveolização/crateras | E12 | 135 | ANSI 31 |
| Empolamento | E13 | 54 | ANSI 31 |
| Descolamentos/destacamentos/descasques | E14 | 50 | ANSI 31 |
| Eflorescências/criptoflorescências | E15 | 51 | ANSI 31 |
| Alteração da cor (amarelecimento/bronzeamento/descoloração) | E16 | 55 | ANSI 31 |
| Sujidade/manchas de poluição | E17 | 74 | ANSI 31 |
| <i>Graffiti</i> | E18 | 70 | ANSI 31 |
| Corrosão de elementos metálicos incorporados no revestimento | E19 | 71 | ANSI 31 |
| Escorrimentos | E20 | 75 | ANSI 31 |
| Colonização biológica | E21 | 124 | ANSI 31 |
| Humidade ascensional | E22 | 120 | ANSI 31 |
| Humidade de infiltração | E23 | 121 | ANSI 31 |
| Fissuração em peitoris/soleiras/ombreiras/vergas | E24 | 125 | ANSI 31 |
| Fissuração e fratura dos vidros | E25 | 144 | ANSI 31 |
| Empenos e deficiências de funcionamento | E26 | 140 | ANSI 31 |
| Deterioração de fechos e dobradiças | E27 | 141 | ANSI 31 |
| Deterioração de estores/portadas | E28 | 145 | ANSI 31 |
| Deficiência em tubos de queda | E29 | 164 | ANSI 31 |
| Inexistência de pingadeiras | E30 | 160 | ANSI 31 |
| Inexistência/insuficiência de inclinação em peitoris | E31 | 161 | ANSI 31 |
| Deterioração/inexistência de mástique | E32 | 165 | ANSI 31 |
| Deterioração do lacado/anodizado | E33 | 184 | ANSI 31 |
| Deterioração de pinturas em caixilharias/gradeamentos | E34 | 180 | ANSI 31 |
| Ataque de xilófagos | E35 | 181 | ANSI 31 |
| Apodrecimento/humidade/fungos | E36 | 185 | ANSI 31 |

| Patologias existentes na face interior da envolvente opaca | Código | Cor layer | Trama |
|---|---------------|----------------------|--------------|
| Deficiências de planeza do revestimento | I1 | 14 | NET |
| Riscagem ou desgaste de ladrilhos/placas pétreas | I2 | 34 | NET |
| Fissuração/deterioração de juntas de ladrilhos | I3 | 30 | NET |
| Fissuração sem orientação preferencial – craquelê | I4 | 31 | NET |
| Fissuração predominantemente vertical | I5 | 35 | NET |
| Fissuração predominantemente horizontal | I6 | 134 | NET |
| Fissuração predominantemente inclinada | I7 | 130 | NET |
| Empolamento | I8 | 54 | NET |
| Descolamentos/destacamentos/descasques | I9 | 50 | NET |
| Eflorescências/criptoflorescências | I10 | 51 | NET |
| Alteração da cor (amarelecimento/bronzeamento/descoloração) | I11 | 55 | NET |
| Sujidade/manchas | I12 | 74 | NET |
| Escorrimentos | I13 | 75 | NET |
| Colonização biológica | I14 | 124 | NET |
| Humidade ascensional | I15 | 120 | NET |
| Humidade de infiltração | I16 | 121 | NET |
| Fissuração e fratura dos vidros | I17 | 144 | NET |
| Empenos e deficiências de funcionamento | I18 | 140 | NET |

| | | | |
|--|---------------|------------------|--------------|
| Deterioração de fechos e dobradiças | I19 | 141 | NET |
| Deterioração de estores/portadas | I20 | 145 | NET |
| Deterioração/inexistência de mástique | I21 | 165 | NET |
| Deterioração do lacado/anodizado | I22 | 184 | NET |
| Deterioração de pinturas em caixilharias/gradeamentos | I23 | 180 | NET |
| Ataque de xilófagos | I24 | 181 | NET |
| Apodrecimento/humidade/fungos | I25 | 185 | NET |
| Patologias não visíveis na envolvente opaca (elementos ocultos) | | | |
| | Código | Cor layer | Trama |
| Fissuração | O1 | 31 | DOTS |
| Deficiência de ventilação e drenagem da caixa de ar | O2 | 250 | DOTS |
| Ausência de isolamento térmico | O3 | 4 | DOTS |
| Pontes térmicas | O4 | 6 | DOTS |
| Condensação interior | O5 | 254 | DOTS |

O grau de correlação que se espera obter entre as patologias mapeadas é fundamental. Poderão observar-se manifestações patológicas na face interior das fachadas que terão como origem patologias existentes na face exterior das fachadas (pontos críticos), cuja manifestação física seja somente na face interior; a causalidade que possa existir entre os elementos estruturais – vigas, pilares e topos de lajes – com as patologias das fachadas; as patologias não visíveis, mais concretamente ao nível interno do elemento, que se manifestam quer no exterior, quer no interior; o historial das intervenções efetuadas permitirá analisar mais concretamente a origem de patologias recorrentes, permitindo adotar uma solução mais adequada.

Adicionalmente, será aplicada uma ficha de patologias exaustiva, capaz de relacionar a patologia individual no contexto do edifício (não desenvolvida no presente trabalho).

Ambiciona-se, assim, obter um documento de engenharia rigoroso e detalhado, constituído por peças escritas e desenhadas, que explicita de forma objetiva e rigorosa as patologias estudadas através do mapeamento, da identificação, da quantificação e da correlação dos dados recolhidos, favorecendo o alcance de soluções fundamentadas.

4.2. MAPEAMENTO DAS PATOLOGIAS

Pretende-se que o mapeamento das patologias em fachadas seja subdividido, conforme referido, em três níveis de observação, decompostos nos componentes da fachada. Este mapeamento será realizado de acordo com a capacidade de cada uma das ferramentas a utilizar:

- Patologias visíveis na face exterior da envolvente opaca, envolvente transparente e elementos singulares - fotogrametria digital terrestre 2D potenciada pela associação de uma plataforma robótica acoplada a uma máquina fotográfica equipada com uma objetiva de pormenor, permite com elevado rigor, observar e registar as patologias visíveis na envolvente opaca, envolvente transparente e elementos singulares. Apesar dos alçados dos edifícios serem elementos tridimensionais, a sua representação bidimensional é suficiente para a inclusão de todos os seus componentes, bem como a sua correta compreensão. Assim, tendo em conta o pragmatismo e a rapidez que a aquisição de dados bidimensionais das patologias das fachadas, obtidos com

recurso à técnica de fotogrametria digital terrestre 2D potenciada, considera-se esta a ferramenta adequada para o mapeamento das patologias no plano exterior;

- Patologias visíveis na face interior da envolvente opaca - fotogrametria digital terrestre 2D potenciada e fotografia digital simples – admite observar e registar as patologias visíveis na envolvente opaca (face interior);
- Patologias não visíveis na envolvente opaca - termografia de infravermelhos e análise higrótérmica: permitem observar e detetar as patologias não visíveis na envolvente opaca (elementos ocultos) e na estrutura (estrutura das paredes).

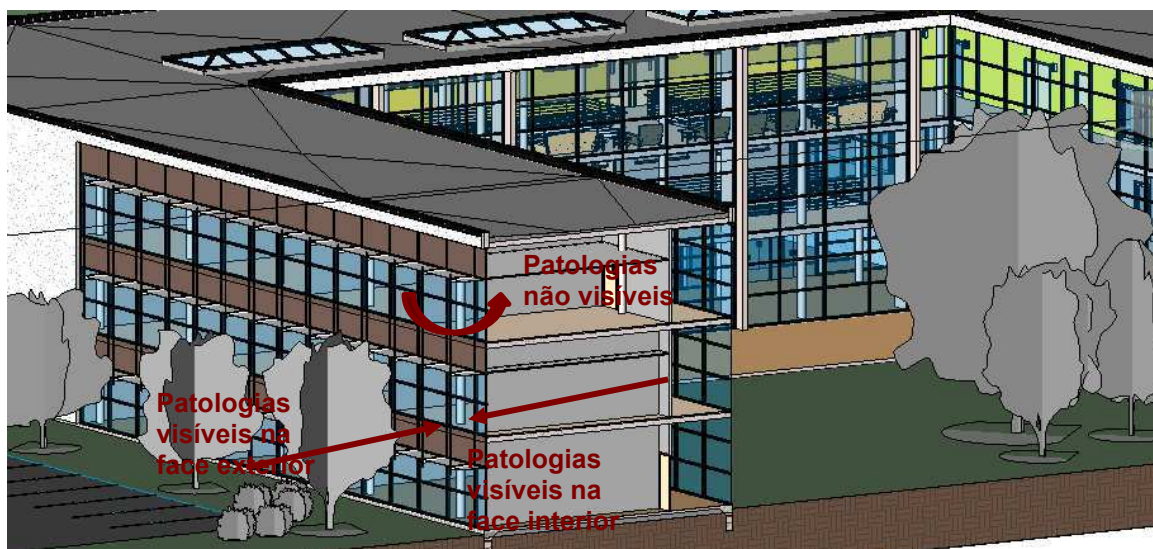


Fig.4.2 – Representação esquemática da fachada [46]

4.2.1. MAPEAMENTO DAS PATOLOGIAS VISÍVEIS NA FACE EXTERIOR DA ENVOLVENTE OPACA, ENVOLVENTE TRANSPARENTE (CAIXILHOS E VIDROS) E ELEMENTOS SINGULARES (CORNIJAS, PEITORIS, JUNTAS DE DILATAÇÃO/CUNHAIS, SALIÊNCIAS E CORPOS EM CONSOLA/BALANÇO)

4.2.1.1. Estruturação dos procedimentos

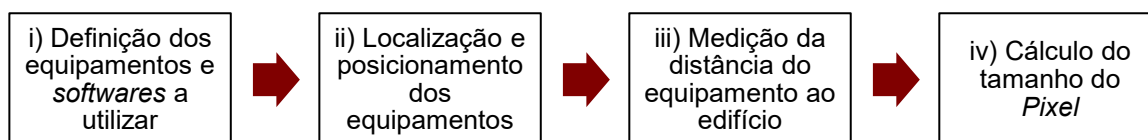
A abordagem ao mapeamento das patologias referidas, utilizará como ferramenta a fotogrametria digital terrestre 2D. No entanto, esta ferramenta será proposta numa versão potenciada, alcançada pela associação de uma plataforma robótica com uma máquina fotográfica equipada com uma objetiva de pormenor. Com esta associação, será possível a aquisição de fotografias panorâmicas de alta resolução - *Gigapixel*. Esta potenciação traduz-se numa capacidade de registar com uma precisão consideravelmente mais elevada todos os detalhes numa fotografia panorâmica do edifício (que terá origem na captação e união de centenas de fotogramas de pormenor), onde todos os pormenores físicos e, em particular, as patologias poderão ser visualizadas de uma forma mais ampliada. Clarifica-se que, unicamente desta forma, é possível conseguir a precisão requerida para a observação remota das patologias das fachadas.

Com a aquisição de uma fotografia panorâmica com as características referidas, a sua retificação executa-se igualmente com facilidade, através de um *software* de edição de imagem tipo *Photoshop*, ou mesmo através do *software* de *stitching* utilizado para obtenção da imagem panorâmica. Contudo, se fosse objetivo proceder à sua restituição com a finalidade da construção tridimensional do edifício com as imagens panorâmicas de alta resolução obtidas, seriam necessários meios computacionais de elevada performance, e profundos conhecimentos técnicos de fotogrametria e topografia. Mesmo com os

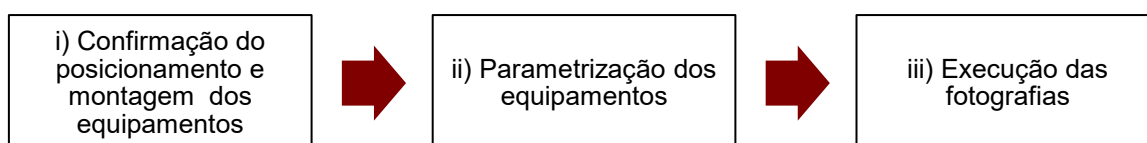
equipamentos mencionados, o tempo de processamento computacional da restituição é muito moroso, não havendo garantias de que tal seja possível.

Os procedimentos a adotar para o mapeamento das patologias visíveis na face exterior dividem-se em três fases:

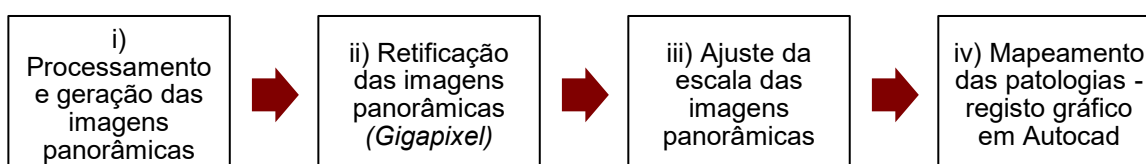
▪ 1ª Fase - Planeamento



▪ 2ª Fase - Trabalho de campo



▪ 3ª Fase – Obtenção da fotografia panorâmica de alta resolução (*Gigapixel*) e registo das patologias - Mapeamento



4.2.1.2. Planeamento

i. Definição dos equipamentos e *softwares* a utilizar

A primeira fase desta técnica consiste na definição dos equipamentos a utilizar, nomeadamente a câmara fotográfica, a objetiva, a plataforma robótica e os respetivos *softwares* (ver resumo no quadro 4.2).

No que diz respeito aos equipamentos, estes foram definidos para a obtenção da precisão mínima estipulada – 1 *pixel* = 1mm, em condições normais da execução do fotograma (distância mínima ao edifício de aproximadamente 1m e distância máxima de 60 a 70m). O nível de precisão mínimo considerado, teve por base o trabalho desenvolvido no estudo apresentado na Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia [23], onde é sugerida uma precisão de 3mm. Na presente metodologia, ambiciona-se ir mais além, equacionando-se uma precisão mínima de 1mm.

- Câmera fotográfica – Cannon EOS 80D;



Fig.4.3 – Câmera fotográfica digital Cannon EOS 80D [47]

- Objetiva – Sigma 70-300 mm F4-5.6 APO DG Macro



Fig.4.4 – Objetiva 70-300mm Sigma [48]

- Plataforma robótica – *GigaPan* EPIC 100



Fig.4.5 – Plataforma robótica GigaPan EPIC 100¹ [48]

¹ A plataforma robótica *GigaPan* EPIC 100 permite a captura de panoramas com vários *gigapixels* de resolução, formando uma mega imagem a partir de centenas ou de milhares de fotografias, sem costuras visíveis.

- Tripé



Fig.4.6 – Tripé [48]

Adicionalmente ao equipamento apresentado, será sempre necessário algum do equipamento base utilizado na técnica de observação visual direta, nomeadamente caderno e lápis para apontamentos, bússola para confirmação da orientação das fachadas, fita métrica ou medidor laser e fissurómetro. Este equipamento deve sempre acompanhar o técnico responsável pelo levantamento das patologias, de modo a ultrapassar qualquer dificuldade que surja com os equipamentos tecnológicos.

Na escolha dos *softwares*, foi ponderada a utilização do Autocad ou do Revit. O Revit suporta o fluxo de trabalho *BIM*, permitindo uma modelação paramétrica dos componentes. Adicionalmente, a visualização e interpretação em formato 3D é imediata e facilitada, pelo que se apresenta como um *software* adequado, principalmente para projetos realizados de raiz. No caso concreto da reabilitação urbana, em que num único edifício existem inúmeros elementos construtivos bastante diferentes entre si e específicos de uma determinada época de construção, e mais concretamente no caso do registo gráfico de patologias nas fachadas, o Revit apresenta desvantagens relativamente ao Autocad.

Desde logo pela inexistência de componentes-tipo, similares aos que se observam nos edifícios mais antigos. O Revit trabalha com “famílias”, ou seja, com elementos-tipo pré-definidos, ou definidos caso a caso – exigindo mais tempo na criação de famílias novas para os elementos específicos; a inexistência de layers neste *software* torna impossível a sobreposição gráfica referida na metodologia em estudo; por fim, a dificuldade de desenhar livremente no Revit é outro dos seus inconvenientes para o objetivo deste trabalho.

Face ao exposto, e tendo em conta que uma fachada, apesar de ser um elemento tridimensional, pode facilmente representar-se bidimensionalmente, optou-se pela utilização do *software* Autocad para a elaboração gráfica das patologias.

Através do Autocad pretende-se desenhar *polylines*, em torno de cada anomalia visível, definindo, desta forma, um polígono para o qual pode ser quantificada a extensão da sua área.

- *Softwares* – Autopano Giga (para a obtenção do fotograma *Gigapixel* e retificação da imagem panorâmica), Photoshop (para a retificação da imagem panorâmica caso o resultado obtido com o *software* de stitching não seja o pretendido) e Autocad (para a elaboração gráfica do mapa de patologias) (ver quadro 4.2).

Quadro 4.2 – Equipamentos e *softwares* para o mapeamento das patologias visíveis na face exterior da envolvente opaca, envolvente transparente e elementos singulares

| Especificação dos equipamentos | |
|---------------------------------------|-------------------------------------|
| Câmara digital | |
| Canon EOS 80D | |
| Tipo | DSLR |
| Distância focal | 1,6x da distância focal da objetiva |
| Tipo de sensor | CMOS de 22,3mm x 14,9mm |
| Tamanho do sensor da imagem | 22,3mm x 14,9mm |
| Tamanho máximo da imagem | 6000 x 4000 Pixels (formato 3:2) |
| Objetiva | |
| Sigma 70-300mm F4-5.6 APO DG Macro | |
| Tipo | Objetiva de zoom |
| Distância focal | 70-300mm |
| Distância focal mínima | 95cm |
| Plataforma robótica | |
| GigaPan EPIC 100 | |
| Tripé | |
| Profissional | |
| Especificação dos Softwares | |
| Autocad, Autopano Giga e Photoshop | |

ii. Localização e posicionamento dos equipamentos

Após a definição dos equipamentos, deverá ser estudada a sua localização relativamente ao edifício, através da vista aérea do local e no próprio local. Este passo tem como objetivo facilitar a identificação de obstáculos existentes, definindo o local mais adequado para o posicionamento dos equipamentos.

A localização e posicionamento dos equipamentos poderá ser realizada através do Google Earth. Contudo, na falta do serviço do Google, a localização dos equipamentos poderá ser realizada com auxílio de outros equipamentos, mais concretamente através de um *GPS*.

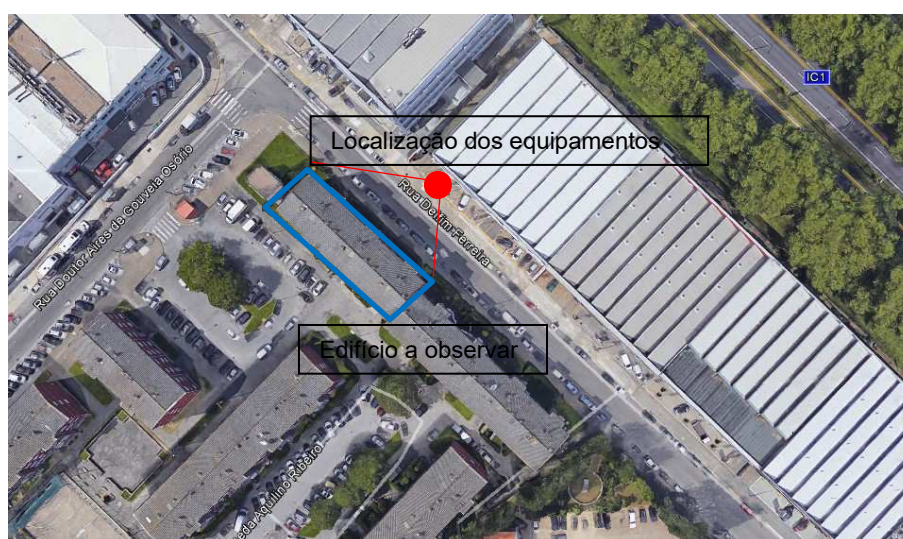


Fig.4.7 – Estudo da localização e posicionamento dos equipamentos com recurso ao *Google Earth*

Os eventuais obstáculos deverão, assim, ser confirmados com visitas ao local e documentados através de fotografias, o que facilita a determinação da localização e posicionamento dos equipamentos.

iii. Medição da distância do equipamento ao edifício

Com recurso ao Google Earth, a distância do equipamento ao edifício poderá ser facilmente medida através da ferramenta “régua” disponível. Esta também poderá ser efetuada com recurso a uma fita métrica ou um aparelho de medição *laser* no local.

iv. Cálculo do tamanho do *pixel*

Através da fórmula de cálculo expressa no Capítulo 2, nas técnicas de mapeamento com recurso à fotogrametria digital, o tamanho do *pixel* calcula-se de acordo com:

$$TP = \frac{H \times d}{NP \times c} \quad (2)$$

Adotando como exemplo o edifício e a localização dos equipamentos representados na Fig. 4.7, teríamos:

$H = 21800$ mm (distância entre a máquina fotográfica e o elemento a fotografar [mm])

$d = 22,30$ mm (tamanho do sensor da máquina fotográfica [mm])

$NP = 6000$ *pixels* (nº de *pixels* da imagem de acordo com as características da máquina fotográfica)

$c = 300$ mm (comprimento focal da lente [mm])

$$TP = \frac{21800 \times 22,30}{6000 \times 300} = 0,27$$

No presente exemplo, confirma-se a obtenção de uma precisão bastante elevada – 1 *pixel* corresponde a 0,27 mm.

4.2.1.3. Trabalho de campo

i. Confirmação do posicionamento e montagem dos equipamentos

Definido o local de implantação dos equipamentos, preferencialmente sem obstáculos que impeçam a visualização da totalidade do alçado (nos casos em que tal não seja possível, deverão ser realizadas fotografias panorâmicas das zonas ocultas pelos obstáculos), procede-se à montagem dos equipamentos. É necessário acoplar a máquina fotográfica, com a objetiva previamente montada, na plataforma robótica, e este conjunto no tripé:

- Primeiramente deverá ser centralizado o conjunto máquina/lente em relação ao eixo de rotação da plataforma, conforme especificado no Manual de Instruções do fabricante. O *zoom* da objetiva deverá estar fixo para os 300 mm;
- Logo de seguida, deverá proceder-se ao nivelamento do tripé através de indicações fornecidas pela plataforma robótica, semelhante ao procedimento efetuado nos levantamentos topográficos. A plataforma possui um nível de bolha que facilita a execução deste procedimento.

Deve garantir-se a estabilidade do tripé relativamente a movimentos, para uma correta obtenção dos fotografias.

ii. Parametrização dos equipamentos

Após as etapas elencados no ponto anterior, serão ajustadas as funções da plataforma robótica, entre as quais:

- Configuração do *setup*;
- Definição do ponto nodal (ponto sobre o qual a máquina irá girar);
- Definição da sobreposição das imagens (variação entre 25% e 75% - quanto maior a quantidade de detalhes a captar, menor percentagem de sobreposição será necessário);
- Definição do tempo que a plataforma irá esperar até se mover para captar um novo fotograma;
- Definição do número de fotografias que serão obtidas por posição (no mínimo 2);
- Determinação da ordem de captura dos fotogramas individuais.

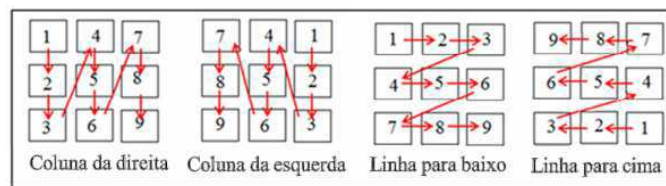


Fig.4.8 – Ordem de captura dos fotogramas individuais [5]

A determinação do número de fotogramas obtidos para a composição da fotografia panorâmica de alta resolução *Gigapixel* é calculado automaticamente pela plataforma robótica, após a definição por parte do operador do canto superior à esquerda e o inferior à direita do edifício, através da utilização da *interface LCD* da máquina fotográfica digital.

iii. Execução das fotografias

Concluídos as fases anteriores, estão reunidas as condições para se proceder à execução das fotografias.

Um fator importante será a posição do sol, para evitar sombras no edifício que possam dificultar a observação das patologias. Nos casos em que a dimensão horizontal da fachada a observar seja considerável, haverá necessidade de posicionar o equipamento a uma distância maior do edifício, de modo que seja possível uma visualização do objeto na sua totalidade e sem distorções que condicionem a observação das patologias, ou, em alternativa, realizar a recolha das fotografias de secções do alçado. Denota-se, aliás, alguma dificuldade na aquisição das fotografias panorâmicas em edifícios com volumetrias mais complexas, ou com corpos em balanço/consola bastante expressivos.

As fotografias obtidas são guardadas no cartão de memória do equipamento fotográfico. Estes dados serão transferidos via *USB* para o computador, para ser gerada a fotografia panorâmica *Gigapixel*, confora explicitado no ponto seguinte.

4.2.1.4. Obtenção da fotografia panorâmica de alta resolução (*Gigapixel*) e registo das patologias – Mapeamento

i. Processamento e geração das imagens panorâmicas

Após a realização do *upload* das fotografias para o computador, o processamento e a montagem dos fotogramas (geração das imagens panorâmicas) realiza-se através do *software* de *stitching* Autopano Giga. É fundamental que o *software* permita um alinhamento correto dos fotogramas, para evitar desalinhamentos na fotografia panorâmica.



Fig.4.9 – Exemplo de um detalhe de uma imagem panorâmica onde se evidencia um desalinhamento [5]

ii. Retificação das imagens panorâmicas

O *software* de *stitching* utilizado para a geração das imagens permite a correção do efeito de perspectiva da imagem (retificação), conforme se ilustra nas Fig. 4.10 e 4.11.

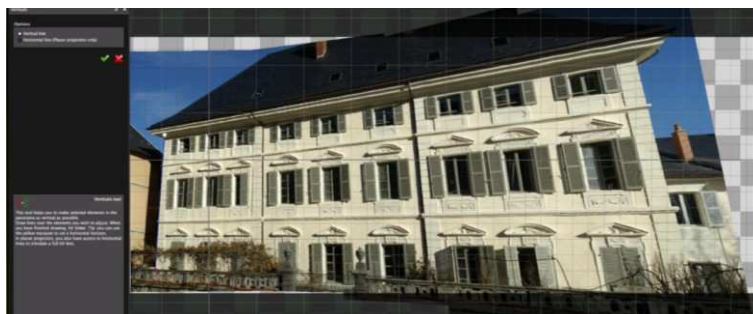


Fig.4.10 – Imagem sem retificação [49]



Fig.4.11 – Imagem retificada com o *software* *Autopano Giga* [49]

Caso o resultado obtido não ofereça a correção exigida, poderá proceder-se à retificação das imagens através do *software* Photoshop.

iii. Ajuste da escala das imagens panorâmicas

Com as etapas descritas anteriormente, a fotografia panorâmica de alta resolução *Gigapixel* está concluída. Segue-se a etapa da correção da escala da imagem. Esta será atualizada através do *software* Autocad, após a medição no local de elementos-chave do edifício, ou no caso da existência de elementos de projeto, nomeadamente os alçados do edifício, estes servirão de base de escala para a fotografia panorâmica.

Após a inserção da imagem na tela de desenho do Autocad, com recurso ao comando *insert attach*, facilmente, através do comando *scale* do Autocad, se atribui a dimensão correta à fachada da fotografia panorâmica. Este passo é relevante para quantificação correta da extensão da área das patologias.

iv. Mapeamento das patologias – registo gráfico em Autocad

Sobre o suporte da fotografia panorâmica *Gigapixel*, alcançada remotamente e que se reveste de elevada precisão, serão assinaladas com recurso a *polylines* as patologias observáveis (fissuras, destacamento de mosaicos, delaminação, etc.). Serão atribuídos a estes elementos os *layers* de acordo com o código de *layers* estipulado no Quadro 5.1.

A tradução gráfica deste processo será semelhante à exibida na Fig. 4.12.

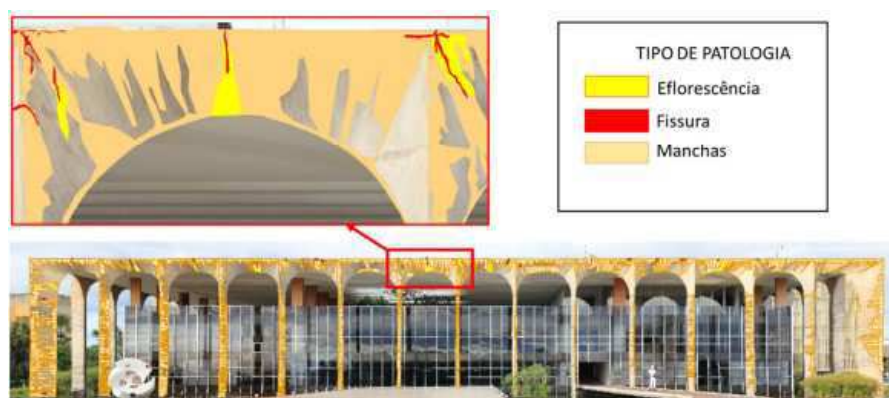


Fig.4.12 – Exemplo de um mapeamento da fachada do Palácio Itamaraty, Brasília [5]

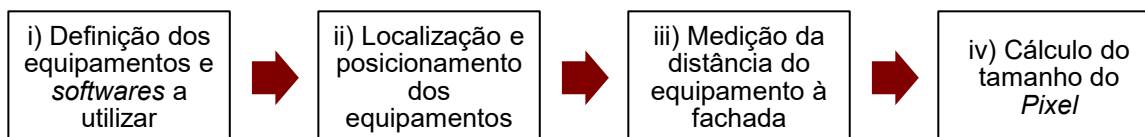
4.2.2. MAPEAMENTO DE PATOLOGIAS VISÍVEIS NA FACE INTERIOR DA ENVOLVENTE OPACA

4.2.2.1. Estruturação dos procedimentos

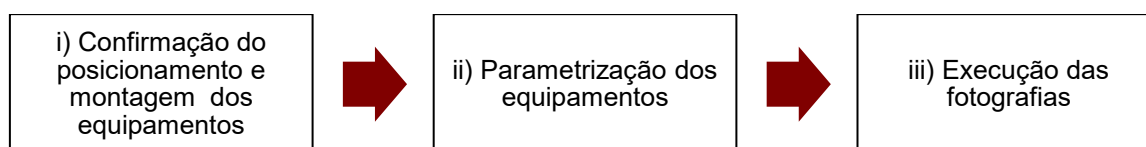
À semelhança do ponto anterior, a abordagem às patologias visíveis face exterior da envolvente opaca, recorrerá à técnica de fotogrametria digital terrestre 2D potenciada, à qual se poderá associar a fotografia digital, para casos em que a área da fachada interior a observar seja de dimensão reduzida.

Os procedimentos para o mapeamento das patologias referidas são em tudo idênticos aos indicados anteriormente:

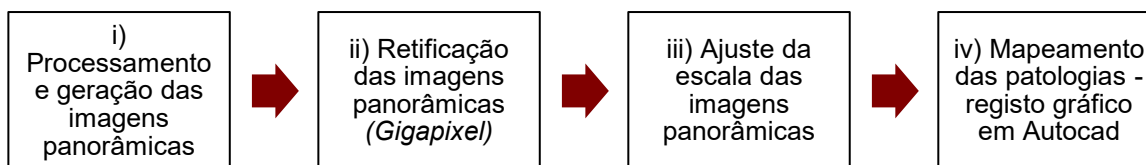
▪ 1ª Fase - Planeamento



▪ 2ª Fase - Trabalho de campo



▪ 3ª Fase – Obtenção da fotografia panorâmica de alta resolução (*Gigapixel*), fotografia digital e registo das patologias – Mapeamento



4.2.2.2. Planeamento

i. Definição dos equipamentos e *softwares* a utilizar

Os equipamentos e *softwares* apresentados no quadro 4.3 são exatamente os que foram referidos no subcapítulo 4.2.1. No entanto, neste caso não será necessário recorrer à abertura da lente nos 300mm, uma vez que a distância do equipamento ao objeto a observar é substancialmente inferior. Assim, estima-se que a utilização da abertura da lente nos 70mm seja suficiente.

Quadro 4.3 – Equipamentos e *softwares* para o mapeamento das patologias visíveis na face interior da envolvente opaca

| Especificação dos equipamentos | |
|------------------------------------|-------------------------------------|
| Câmara digital | |
| Canon EOS 80D | |
| Tipo | DSLR |
| Distância focal | 1,6x da distância focal da objetiva |
| Tipo de sensor | CMOS de 22,3mm x 14,9mm |
| Tamanho do sensor da imagem | 22,3mm x 14,9mm |
| Tamanho máximo da imagem | 6000 x 4000 Pixels (formato 3:2) |
| Objetiva | |
| Sigma 70-300mm F4-5.6 APO DG Macro | |
| Tipo | Objetiva de zoom |
| Distância focal | 70-300mm |
| Distância focal mínima | 95cm |
| Plataforma robótica | |
| GigaPan EPIC 100 | |
| Tripé | |
| Profissional | |
| Especificação dos <i>Softwares</i> | |
| Autocad, Autopano Giga e Photoshop | |

ii. Localização e posicionamento dos equipamentos

Relativamente à localização e posicionamento dos equipamentos, para o mapeamento das patologias na face interior da envolvente opaca, é pertinente avaliar algumas limitações.

Desde logo, por ser intenção mapear patologias interiores, a localização dos equipamentos ocorrerá no interior das divisões do edifício. Face à existência de mobiliário (no caso de edifícios habitados), a recolha das imagens da totalidade do alçado interior apresentará maiores dificuldades.

Assim, deve ser estudado sobre a planta do edifício, a localização e posicionamento dos equipamentos, e em função da área da fachada a estudar, definir o *zoom* da objetiva.

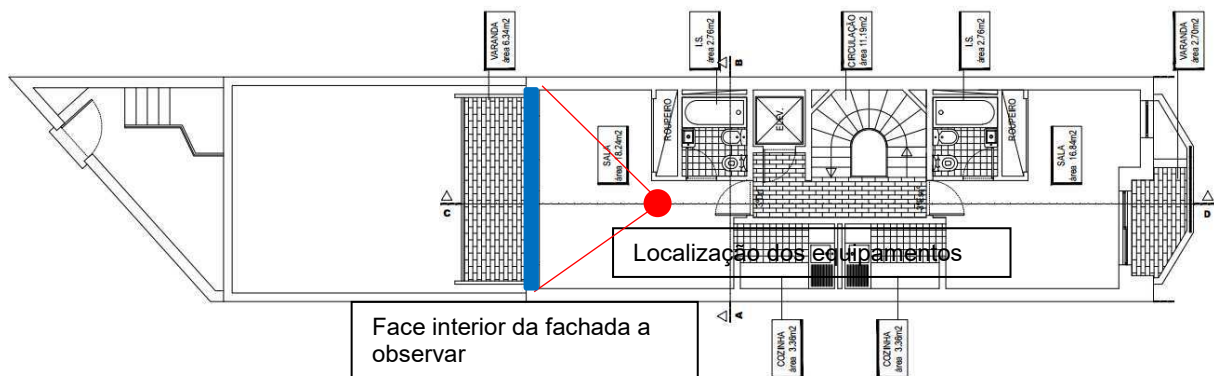


Fig.4.13 – Estudo da localização e posicionamento dos equipamentos sobre a planta do edifício (elaboração própria)

iii. Medição da distância do equipamento à fachada

A medição da distância do equipamento à face interior da fachada realiza-se com facilidade através de uma fita métrica ou de um equipamento de medição *laser*.

iv. Cálculo do tamanho do *pixel*

Através da fórmula de cálculo expressa no Capítulo 2, nas técnicas de mapeamento com recurso à fotogrametria digital, o tamanho do *pixel* calcula-se de acordo com:

$$TP = \frac{H \times d}{NP \times c} \quad (2)$$

Adotando como exemplo a planta e a localização dos equipamentos representados na Fig. 5.10, teríamos:

$$H = 1800 \text{ mm}$$

$$d = 22,30 \text{ mm}$$

$$NP = 6000 \text{ pixels}$$

$$c = 70 \text{ mm}$$

$$TP = \frac{1800 \times 22,30}{6000 \times 70} = 0,096$$

No presente exemplo, confirma-se novamente a obtenção de uma precisão bastante elevada – 1 *pixel* corresponde a 0,096 mm, mesmo com o *zoom* da objetiva fixado nos 70mm.

4.2.2.3. Trabalho de campo

i. Confirmação do posicionamento e montagem dos equipamentos

Definido o local de implantação dos equipamentos, preferencialmente sem obstáculos que impeçam a visualização da totalidade do alçado (nos casos em que tal não seja possível, deverão ser realizadas fotografias panorâmicas das zonas ocultas pelos obstáculos), procede-se à montagem dos equipamentos, seguindo os mesmos procedimentos descritos no ponto 4.2.1.3.

Caso se opte pela fotografia digital tradicional para o registo dos dados, esta etapa resume-se à montagem da máquina fotográfica digital sobre o tripé.

ii. Parametrização dos equipamentos

Seguem-se os mesmos estágios descritos no ponto 4.2.2.3.

iii. Execução das fotografias

Concluídas as etapas anteriores, encontra-se tudo operacional para se proceder à recolha das fotografias.

Relembra-se a eventual impossibilidade de captar todo o alçado interior, face a mobiliário existente ou outras barreiras físicas.

4.2.2.4. Obtenção da fotografia panorâmica de alta resolução (*Gigapixel*) e registo das patologias – Mapeamento

i. Processamento e geração das imagens panorâmicas

Nesta fase realiza-se, mais uma vez, o *upload* das fotografias panorâmicas ou tradicionais. No caso de se trabalhar com fotogramas, o processo de obtenção da fotografia panorâmica de alta definição obedece ao modo indicado no ponto 4.2.1.4, com recurso ao *software* de *stitching* Autopano Giga.

ii. Retificação das imagens panorâmicas

Se se estiver a trabalhar com fotografia digital simples, a retificação deverá ser igualmente realizada com o Photoshop. Caso tenha sido necessário (face à dimensão do alçado interior) recorrer a imagens panorâmicas, o processo de retificação é idêntico ao indicado no ponto 4.2.1.4.

iii. Ajuste da escala das imagens panorâmicas

De igual forma, será necessário adaptar a escala da fotografia às dimensões reais, novamente com recurso ao Autocad e de acordo com os procedimentos anteriormente descritos.

iv. Mapeamento das patologias – registo gráfico em Autocad

No levantamento das patologias do plano interior surge um passo importante, relacionado com a sobreposição que irá ser efetuada entre os alçados do edifício e a fotografia panorâmica de alta resolução exterior, e os dados obtidos do interior.

Assim, após a readaptação da escala da fotografia referida, será necessário efetuar uma simetria em torno de um eixo vertical central da fotografia e alçado do interior, permitindo que a sobreposição dos dados seja coincidente, conforme se ilustra:



Fig.4.14 – Simetria do alçado interior para sobreposição com a fotografia panorâmica (elaboração própria)

Procede-se à atribuição das *layers* destes elementos de acordo com o código apresentado anteriormente, e ao mapeamento e registo gráfico em *polylines* das patologias observáveis sobre a fotografia panorâmica de alta resolução ou sobre a fotografia digital tradicional, adicionando a cada manifestação, mais uma vez, o respetivo código de *layer*.

4.2.3. MAPEAMENTO DE PATOLOGIAS NÃO VISÍVEIS NA ENVOLVENTE OPACA (ELEMENTOS OCULTOS) E ESTRUTURA (ESTRUTURA DAS PAREDES)

4.2.3.1. Estruturação dos procedimentos

A abordagem ao mapeamento das patologias não visíveis requer uma abordagem distinta das anunciadas nos pontos 4.2.1 e 4.2.2.

Este tipo de patologias, numa fase inicial, habitualmente não apresenta manifestações exteriores ou interiores visíveis, uma vez que ocorrem no interior do elemento construtivo, no caso em particular, das paredes exteriores. Traduzem-se normalmente por manifestações de humidade no interior dos elementos construtivos, com origem em três mecanismos fundamentais de fixação de humidade: higroscopicidade, condensação e capilaridade [3].

As condensações internas ocorrem no interior dos elementos construtivos, sempre que num dado ponto desse elemento, a pressão parcial de vapor da água iguala a pressão de saturação. A quantificação do fluxo condensado pode ser calculada através do Método de *Glaser*, cujo algoritmo de cálculo se encontra disponível em *softwares* de cálculo higrotérmico como o Wufi. A existência de pontes térmicas nos elementos dos edifícios são uma potencial causa das condensações internas.

Desta forma, são propostas duas ferramentas para mapeamento das patologias não visíveis: a termografia (qualitativa) e *softwares* de cálculo higrotérmico – Wufi. Adicionalmente, através de elementos de projeto ou de recolha de dados realizadas no local, deverão ser localizados os elementos estruturais do edifício – pilares, vigas e topos de lajes.

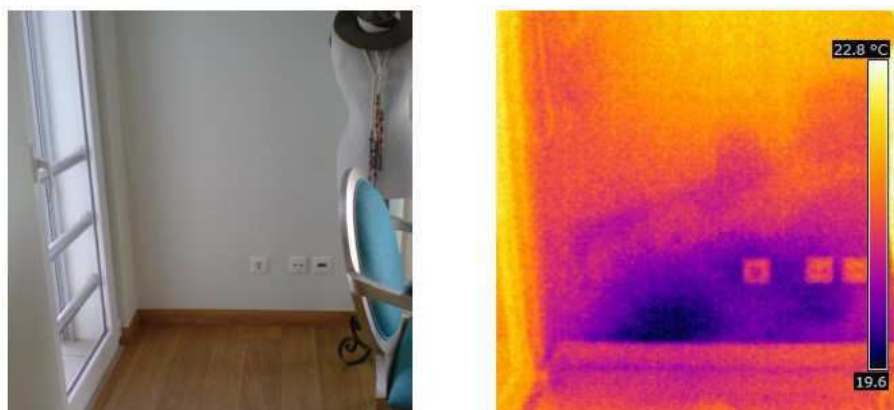
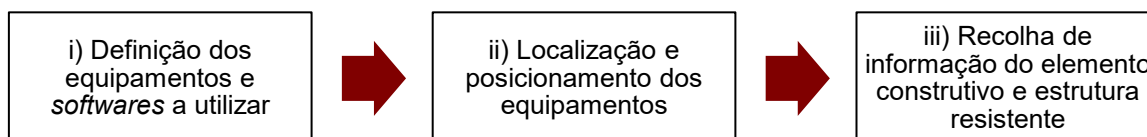


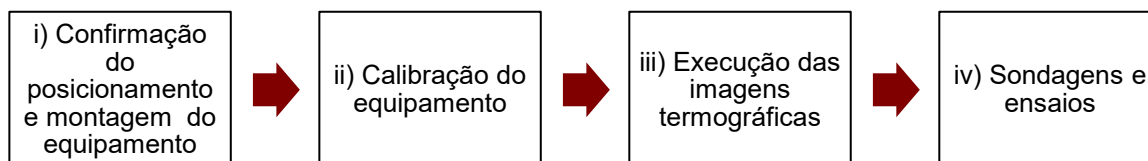
Fig.4.15 – Exemplo de detecção de infiltração não visível [36]

Os procedimentos a adotar seguirão o esquema que se apresenta:

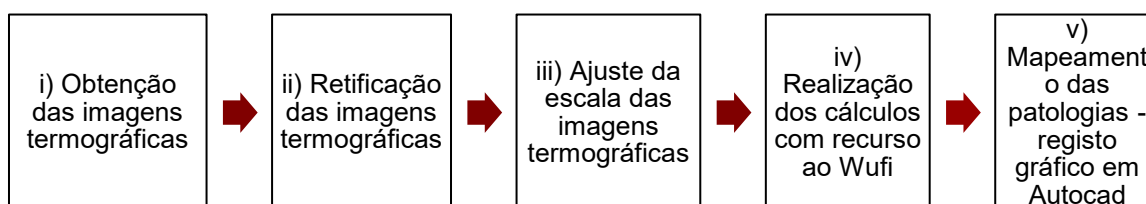
▪ 1ª Fase - Planeamento



▪ 2ª Fase - Trabalho de campo



▪ 3ª Fase – Obtenção das imagens termográficas, resultados obtidos com o *software* de cálculo higratérmico e registo gráfico das patologias - Mapeamento



4.2.3.2. Planeamento

i. Definição dos equipamentos e *softwares* a utilizar

Conforme já foi revelado ao longo deste subcapítulo, as ferramentas a utilizar para o mapeamento das patologias não visíveis nas fachadas são a termografia e *software* de cálculo higratérmico. Relativamente aos equipamentos e *softwares* a utilizar, apresentados no quadro 4.4, teremos:

- Câmara termográfica



Fig.4.16 – Exemplo de uma câmara termográfica [50]

- Termo higrómetro



Fig.4.17 – Exemplo de um termo higrómetro [51]

- *Datalogger*



Fig.4.18 – Exemplo de um *datalogger* [51]

- Emissómetro, tripé e bússola

Quadro 4.4 – Equipamentos e *softwares* para o mapeamento das patologias não visíveis na envolvente opaca (elementos ocultos) e estrutura (estrutura das paredes)

| Especificação dos equipamentos |
|--|
| Câmara termográfica |
| <i>Thermo Tracer TH9100 MR</i> |
| Termo higrómetro |
| <i>Protimeter MMS2</i> |
| <i>Datalogger</i> |
| <i>HOBO U12 Temp/HR Data Logger</i> |
| Emissómetro |
| <i>AE1 Emissometer</i> |
| Tripé e bússola |
| Pacómetro |
| Especificação dos <i>Softwares</i> |
| Autocad, Autopano Giga, Photoshop, INFREC ANALYZER NS9500 LT, Wufi |

ii. Localização e posicionamento dos equipamentos

Relativamente à localização e posicionamento do equipamento de termografia, os procedimentos a adotar serão uma conjugação dos descritos nos pontos 4.2.1.2 e 4.3.1.2.

iii. Recolha de informação do elemento construtivo e estrutura resistente

Devem ser consultados os elementos de projeto referentes à constituição do elemento construtivo em análise (peças desenhadas, memória descritiva, ficha técnica do edifício) e à localização dos elementos estruturais (pilares, vigas e topos de lajes). Na falta destes elementos, será necessário realizar sondagens ou ensaios, conforme descrição no ponto seguinte, com vista ao conhecimento rigoroso dos materiais que compõem o elemento e localização da estrutura. O conhecimento da constituição do elemento construtivo é fundamental, com vista à introdução dos dados necessários no *software* de cálculo higratérmico.

4.2.3.3. Trabalho de campo

i. Confirmação do posicionamento e montagem do equipamento

Tal como nos subcapítulos referentes a este ponto, após a definição do local de implantação do equipamento de termografia, preferencialmente sem obstáculos que impeçam a visualização da totalidade da área em análise, procede-se à montagem dos equipamentos, de acordo com as indicações do fabricante.

ii. Calibração do equipamento

A câmara termográfica deverá ser montada sobre um tripé estável, para uma maior estabilização das imagens a recolher. O equipamento requer uma calibração, de modo a remover a reflexão de elementos no ambiente em medição (este passo é necessário exclusivamente para uma avaliação qualitativa, sendo precisamente este o objetivo deste estudo). Para efetuar esta calibração, é necessário aguardar cerca de 10 minutos após a ligação do equipamento, com o respetivo valor da emissividade igual a 1,0. Seguidamente, atualiza-se o valor da emissividade do objeto a medir, de acordo com uma tabela com dados sobre as características dos materiais. Finaliza-se com a focagem automática ou manual do equipamento (ajuste da temperatura, a sensibilidade e a focagem).

iii. Execução das imagens termográficas

Com os passos anteriores concluídos, procede-se à execução das imagens termográficas, que ficarão registadas no cartão de memória do equipamento.

iv. Sondagens e ensaios

Poderá haver necessidade de se realizarem sondagens e ensaios, com o objetivo de conhecer a composição da parede que compõe a fachada exterior, bem como para se identificar a localização dos elementos estruturais que se inserem na fachada.

No caso de sondagens, estas serão realizadas para apreciar a configuração da fachada (tipo de estrutura – alvenaria de tijolo, de pedra, etc.), existência de isolamentos térmico e acústico, e a configuração dos elementos. Pode recorrer-se também a um boroscópio para identificar a configuração da fachada, através da realização de um furo de pequeno diâmetro no paramento, com recurso ao equipamento designado visualizar o interior do elemento, identificando os seus materiais e espessuras. Este tipo de abordagem é menos destrutivo do que as sondagens.

Para a identificação da localização dos elementos estruturais, no caso das estruturas em betão armado, a termografia permite, habitualmente, identificar estes elementos. Contudo, refere-se, igualmente, o recurso a aparelhos de deteção de elementos metálicos (pacómetro).

4.2.3.4. Obtenção das imagens termográficas, resultados obtidos com o *software* de cálculo higrotérmico, e registo gráfico das patologias e elementos estruturais - Mapeamento

i. Obtenção das imagens termográficas

Após a medição efetuada com recurso à câmara termográfica, através do *software* INFREC ANALYZER NS9500 LT, carregam-se as imagens via *USB*. Este *software* admite a abertura dos ficheiros para visualização das imagens termográficas, a transferência de dados para folhas de cálculo em Excel e das imagens para formato *.bmp* (imagens de mapa de *bits*). As imagens poderão ser, ainda, trabalhadas ao nível das zonas isotérmicas e de curvas de temperatura.

ii. Retificação das imagens termográficas

A retificação das imagens obtidas em extensão *.bmp* será realizada com recurso ao Photoshop.

iii. Ajuste da escala das imagens termográficas

O ajuste da escala da imagem termográfica realiza-se em Autocad, da forma já referida nos pontos 4.2.1.4 e 4.2.2.4.

iv. Realização dos cálculos higrotérmicos com recurso ao Wufi

O Wufi trata-se de um “*software* para simulação da transferência de humidade e calor em elementos construtivos. Realiza simulações realistas da influência dos fatores higrotérmicos para diferentes elementos construtivos e condições climáticas”. [52]

Neste *software* é necessário introduzir dados relativos ao elemento construtivo, tais como material, espessura, tipo de elemento e respetiva ordenação geométrica sequencial dos mesmos.

Especificando-se a orientação das fachadas, o período de análise, entre outros dados, procede-se ao seu cálculo. Os dados obtidos fornecem indicação acerca das características dos materiais (curva higroscópica, por exemplo), e permite identificar a zona do elemento construtivo onde se poderá verificar o risco de condensações internas.

v. Mapeamento das patologias – registo gráfico em Autocad

Sobre o suporte das imagens termográficas, serão assinaladas com recurso a *polylines*, as áreas onde se verifica a possibilidade de ocorrência de condensações internas, pontes térmicas, inexistência de elementos de isolamento térmico, entre outros, que se mostrem relevantes. Assinalam-se, inclusive, a localização dos elementos estruturais. No caso de imagens recolhidas a partir do interior dos espaços, deverá ser realizada a simetria referida no ponto 4.2.2.4. Serão atribuídos a estes elementos os *layers* de acordo com o código de *layers* estipulado no Quadro 5.1.



Fig.4.19 – Exemplo de análise de fachada com diversas patologias [36]

4.3. CORRELAÇÃO DAS PATOLOGIAS

A avaliação do grau de correlação existente entre as patologias visíveis nas faces exterior e interior e as patologias não visíveis, requer informação obtida através do mapeamento, conforme se ilustra no seguinte esquema:



Esta informação será alvo de análise pormenorizada, fundamentalmente de forma gráfica, materializando-se na elaboração de mapas de correlação.

4.3.1. ANÁLISE FUNDAMENTADA NO REGISTO GRÁFICO OBTIDO ATRAVÉS DO MAPEAMENTO – MAPAS DE CORRELAÇÃO

Terminada a fase de mapeamento e registo gráfico das patologias existentes nas fachadas de um edifício, realiza-se uma análise fundamentada com os dados recolhidos, com o objetivo de se estimar o grau de correlação que possa existir entre as anomalias mapeadas. Através da sobreposição dos *layers* das patologias, atenta-se na sobreposição espacial que possa ocorrer entre as anomalias, observando a referida ação relativamente a todas as patologias registadas. Este processo, executado graficamente em Autocad, exige conhecimento técnico por parte do profissional que o irá realizar. A análise gráfica conduz-se ligando e desligando as *layers*, grupo a grupo, efetuando-se uma análise atenta da sobreposição espacial entre as patologias visíveis na face exterior, as patologias visíveis na face interior e as patologias não visíveis.

Serão, assim, desenvolvidos três mapas de correlação:

- i. Mapa de correlação entre as patologias visíveis na face exterior da envolvente opaca, envolvente transparente (caixilhos e vidros) e elementos singulares (cornijas, peitoris, juntas de dilatação/cunhais, saliências e corpos em consola/balanço), com as patologias visíveis na face interior da envolvente opaca;
- ii. Mapa de correlação entre as patologias visíveis na face exterior da envolvente opaca, envolvente transparente (caixilhos e vidros) e elementos singulares (cornijas, peitoris, juntas de dilatação/cunhais, saliências e corpos em consola/balanço), com as patologias não visíveis da envolvente opaca (elementos ocultos) e estrutura (estrutura das paredes);
- iii. Mapa de correlação entre as patologias visíveis na face interior da envolvente opaca, com as patologias não visíveis da envolvente opaca (elementos ocultos) e estrutura (estrutura das paredes).

Este tipo de análise permite uma abordagem à patologia pontual e global, contribuindo para uma sistematização das possíveis correlações verificadas e registadas, no decorrer da aplicação do presente método, num conjunto considerável de edifícios.

Importa, também, nesta fase, relacionar a localização dos elementos estruturais e o historial de intervenções do edifício com as patologias registadas, de modo a identificar relações que possam dar resposta relativamente a causas de algumas anomalias.

Representa-se, graficamente, o objetivo desta fase:



Fig.4.20 – Exemplo de representação gráfica em Autocad – fotografia panorâmica de alta resolução (elaboração própria)

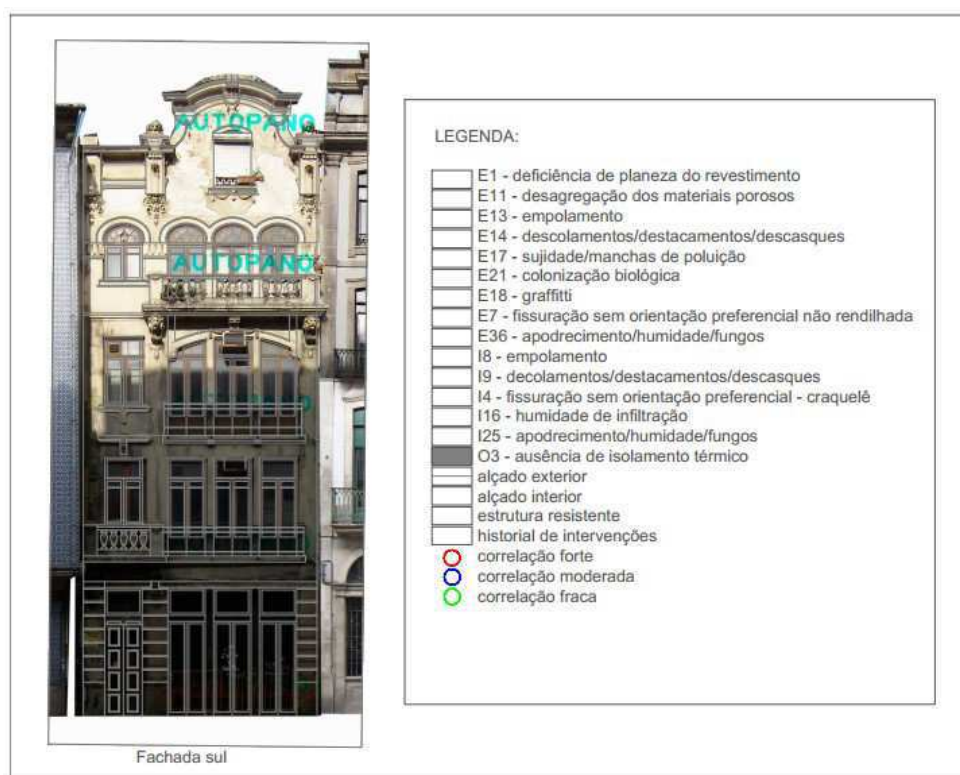


Fig.4.21 – Exemplo de representação gráfica em Autocad – desenho do alçado exterior sobre a fotografia panorâmica (elaboração própria)

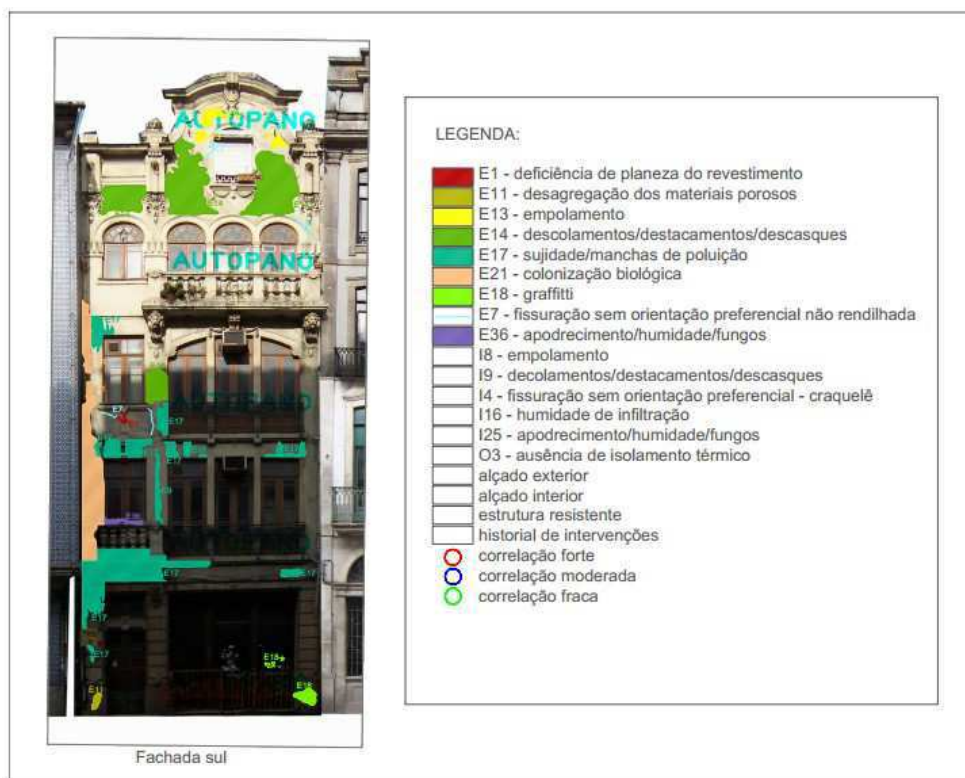


Fig.4.22 – Exemplo de representação gráfica em Autocad – mapeamento das patologias visíveis na face exterior da fachada (elaboração própria)

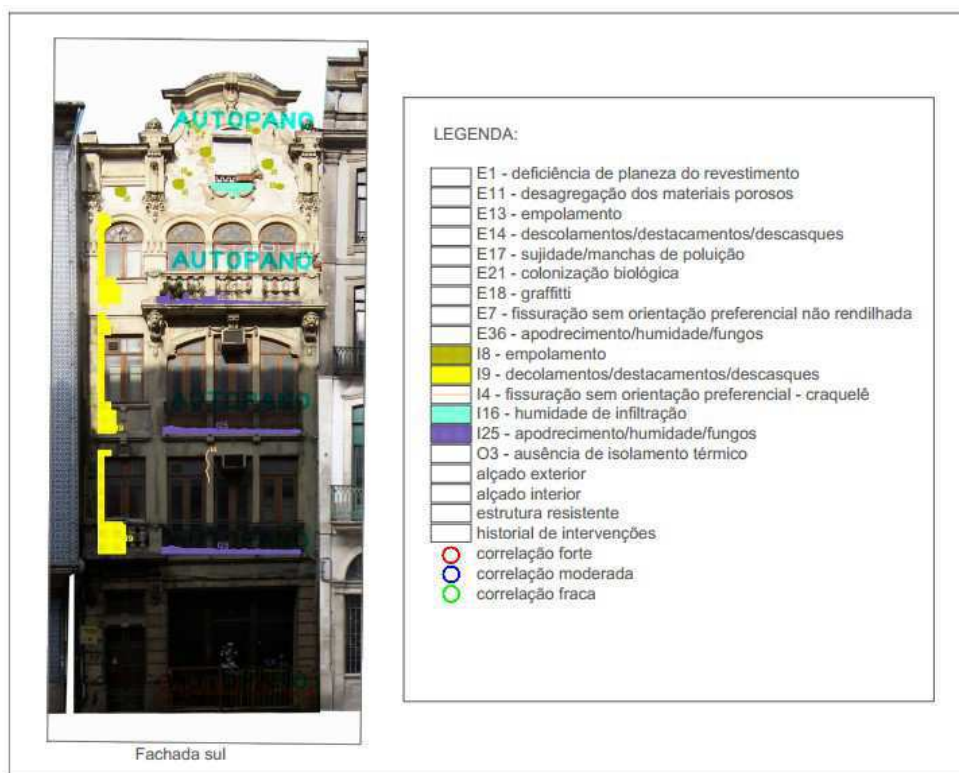


Fig.4.23 – Exemplo de representação gráfica em Autocad – mapeamento das patologias visíveis na face interior da fachada (elaboração própria)

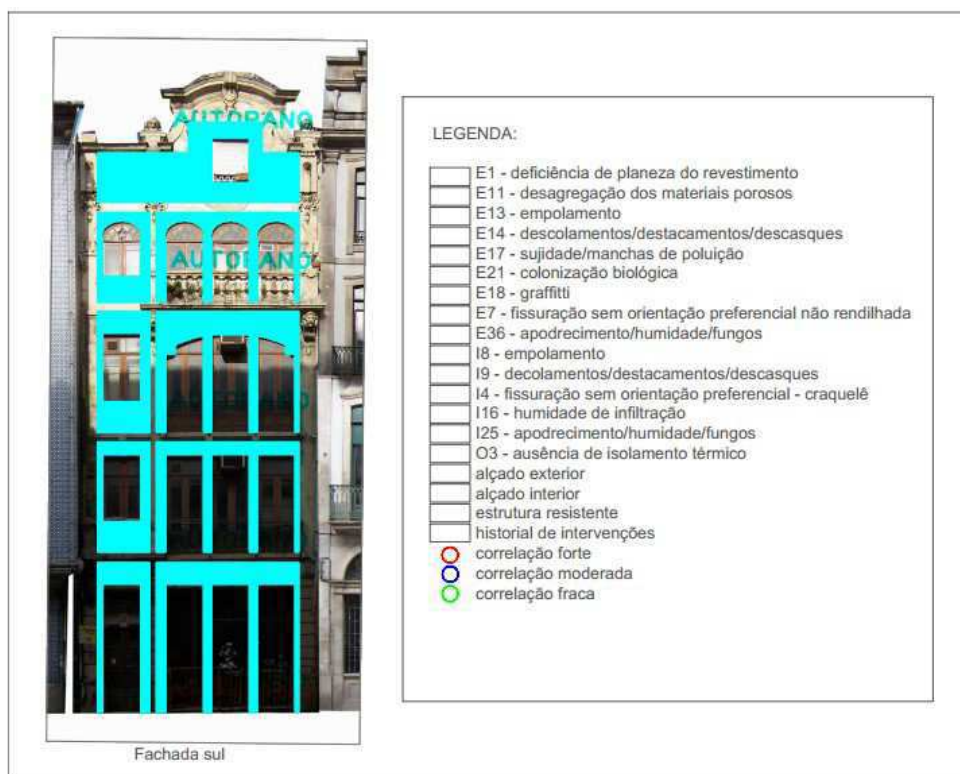


Fig.4.24 – Exemplo de representação gráfica em Autocad – mapeamento das patologias não visíveis (elaboração própria)

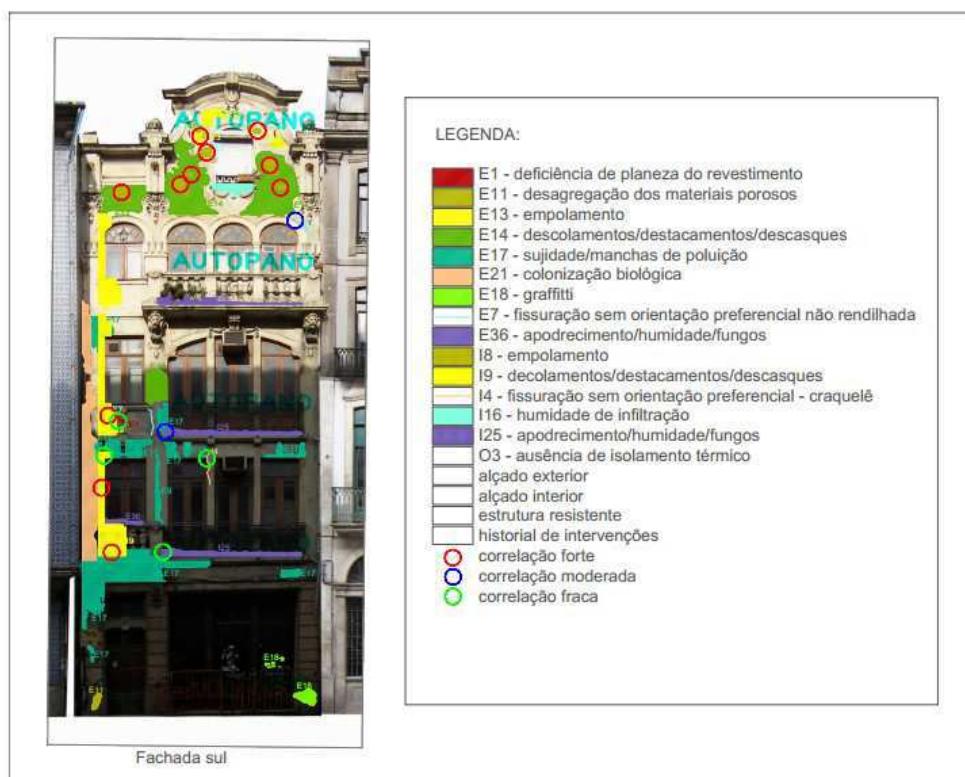


Fig.4.25 – Exemplo de representação gráfica em Autocad – mapa de correlações 1 (elaboração própria)

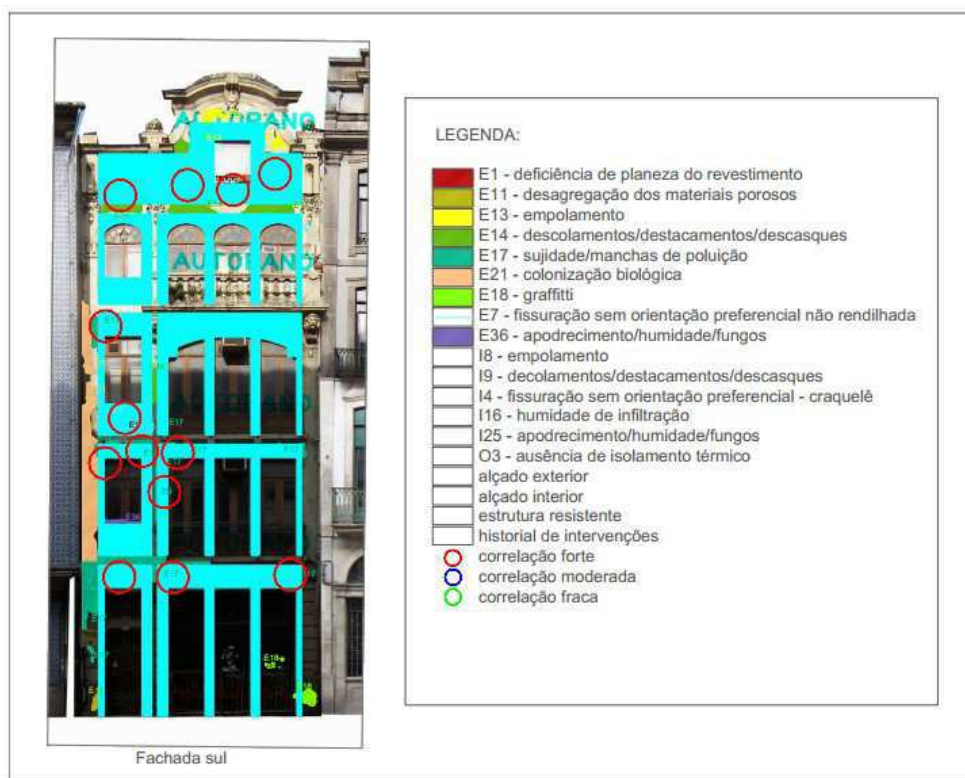


Fig.4.26 – Exemplo de representação gráfica em Autocad – mapa de correlações 2 (elaboração própria)

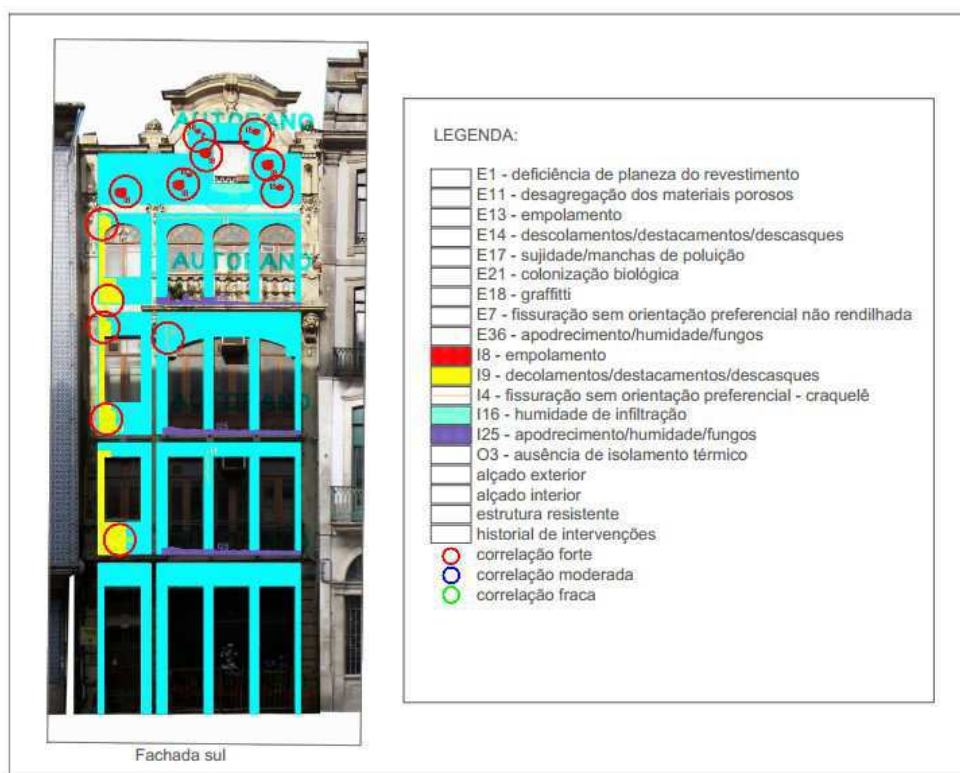


Fig.4.27 – Exemplo de representação gráfica em Autocad – mapa de correlações 3 (elaboração própria)

4.4. DIAGNÓSTICO DAS PATOLOGIAS

4.4.1. APLICAÇÃO DAS TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO E SONDAGENS E ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Com a finalidade de avaliar as características e propriedades de determinada amostra, são aplicadas técnicas de diagnóstico e sondagens. No caso das técnicas de diagnóstico, o seu carácter pode ser destrutivo, não destrutivo, sendo preferenciais as técnicas de carácter não destrutivo. Por sua vez, as sondagens apresentam sempre um carácter destrutivo.

De acordo com Vítor Cóias [19] e Vasco Freitas [3], as técnicas de diagnóstico permitem, fundamentalmente:

- Detecção de elementos ocultos;
- Avaliação de danos em estruturas fissuradas;
- Detecção de vazios, fissuras internas e concavidades;
- Qualificação dos materiais e caracterização das zonas heterogéneas dos mesmos;
- Detecção da degradação superficial;
- Avaliação do teor de humidade superficial e da altura da ascensão capilar;
- Análise das propriedades dos materiais.

A escolha adequada das técnicas a utilizar revela-se importante, em função da sua aplicabilidade ao elemento em observação. Este aspeto foi referido no Capítulo 3 do presente trabalho. Assim, sugere-se a aplicação das técnicas de diagnóstico de acordo com o quadro 3.2., procedendo-se à análise geral das patologias, e em concreto às correlações identificadas, confirmando os casos de correlação efetivamente existentes.

Os resultados deverão ser registados numa ficha de patologias, criada especificamente para o efeito. O método desenvolvido encerra com a elaboração do estudo de diagnóstico das patologias.

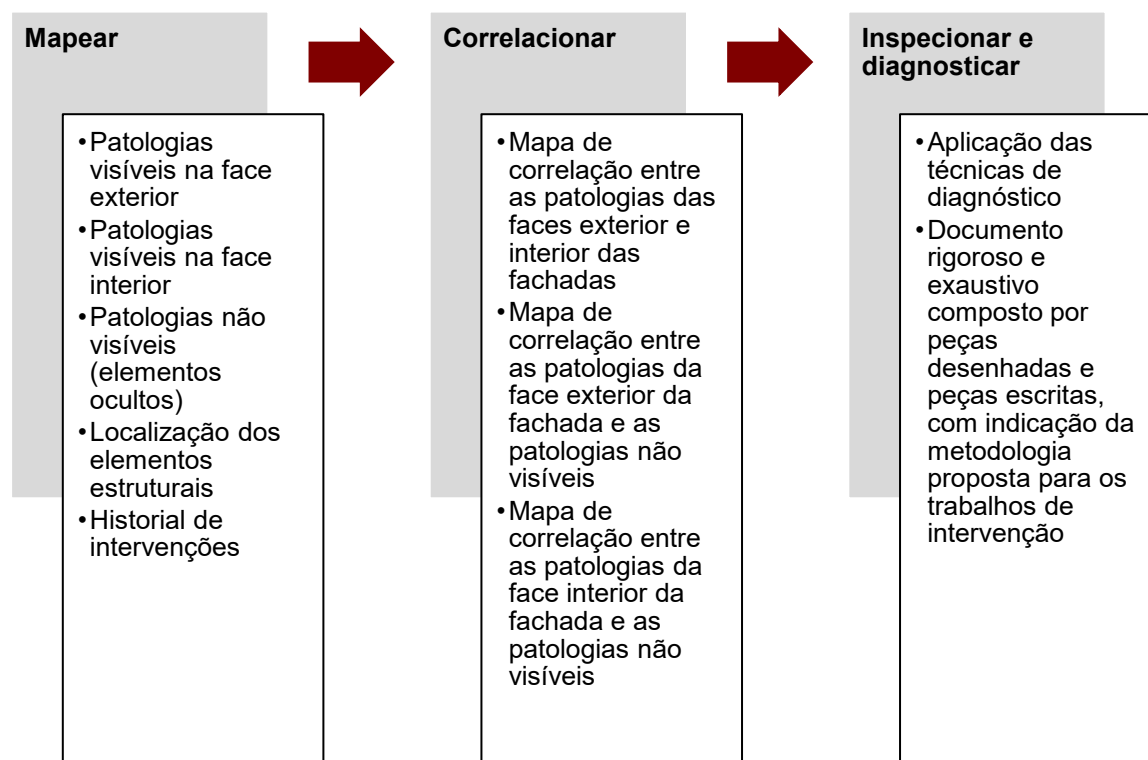


Fig. 4.28 – Esquema da metodologia proposta

4.4.2. ELABORAÇÃO DO ESTUDO DE DIAGNÓSTICO

As propostas deste estudo, nesta fase final, incluem a elaboração de um estudo de diagnóstico composto por peças desenhadas e escritas.

As peças desenhadas serão constituídas por elementos gráficos obtidos através do mapeamento das patologias, de acordo com a listagem que se apresenta:

- Fotografia aérea do edifício, permitindo a visualização da envolvente imediata (confrontações e orientação solar);
- Plantas, cortes de fachada e alçados do edifício, à escala 1:100 e 1:50 (corte de fachada), evidenciando a composição da componente fachada;
- Alçados do edifício, contendo a tracejado a localização dos elementos estruturais confinantes com as fachadas, à escala 1:100;
- Fotografia panorâmica de alta resolução da face exterior das fachadas do edifício, à escala 1:100;
- Fotografias panorâmicas de alta resolução e fotografias simples da face interior das fachadas do edifício;
- Elementos gráficos obtidos com recurso à termografia de infravermelhos;
- Mapeamento e identificação das patologias visíveis na face exterior das fachadas do edifício, representadas graficamente sobre:
 - Fotografia panorâmica de alta resolução à escala 1:50 ou outra escala de pormenor que se considere mais adequada;
 - Alçados do edifício à escala 1:50 ou outra escala de pormenor que se considere mais adequada;
- Mapeamento e identificação das patologias visíveis na face interior das fachadas do edifício, representadas graficamente sobre:
 - Fotografia panorâmica de alta resolução ou fotografia simples à escala 1:50 ou outra escala de pormenor que se considere adequada;
 - Alçados das faces interiores das fachadas do edifício, à escala 1:50 ou outra escala de pormenor que se considere adequada;
- Mapeamento e identificação das patologias não visíveis das fachadas, representadas graficamente sobre:
 - Fotografia panorâmica de alta resolução à escala 1:50 ou outra escala de pormenor que se considere mais adequada;
 - Alçados do edifício à escala 1:50 ou outra escala de pormenor que se considere mais adequada;
- Referência ao historial de intervenções sobre os mapeamentos referidos, assinalados e identificados graficamente;
- Mapas de correlação.

As peças escritas serão constituídas por fichas de patologias:

- Fichas individuais para cada tipo patologia observada na face exterior das fachadas;
- Fichas individuais para cada tipo de patologia observada na face interior das fachadas;
- Fichas individuais para cada tipo de patologia não visível da fachada.

Especificamente desenvolvidas para a presente metodologia, as fichas de patologias deverão conter a seguinte informação:

- Identificação e características gerais do edifício (dados gerais, local de implantação, tipologia do edifício, tipologia da estrutura resistente, tipologia das fachadas, tipologia dos materiais das fachadas, tipologia dos revestimentos das fachadas, tipologia das caixilharias/vãos envidraçados e guarda-corpos);
- Fotografia aérea com a implantação do edifício e orientação solar das fachadas;
- Fotografia global das fachadas do edifício (das faces exteriores e interiores), com o mapeamento de todas as patologias registadas;
- Fotografia particular de cada tipo de patologia registada;
- Desenho dos alçados, com o mapeamento das patologias;
- Fotografias obtidas através da termografia;
- Conclusões obtidas do comportamento higrotérmico, obtidas através do *software* Wufi;
- Técnicas de ensaio utilizadas, sondagens efetuadas e resultados obtidos;
- Conclusões sobre as correlações confirmadas e registando a relação causa-efeito;
- Análise técnica fundamentada nas informações descritas nos pontos acima (causas prováveis das anomalias);
- Metodologia proposta para os trabalhos de reabilitação.

4.5. SÍNTESE DE CAPÍTULO

A metodologia revelada permite alcançar progressos significativos quanto à forma como o mapeamento e diagnóstico das patologias em fachadas pode ser realizado, os quais se resumem abaixo:

- Tratando-se de uma técnica que recorre a ferramentas de mapeamento de obtenção dos dados de forma remota, a segurança do operador do estudo é incrementada;
- O grau de precisão alcançado com a potenciação da ferramenta de fotogrametria digital terrestre 2D é impressionante, permitindo visualizar com elevado rigor e precisão as patologias visíveis nas faces exterior e interior dos alçados dos edifícios;
- Observa-se durante a realização do mapeamento uma economia do tempo de trabalho, permitindo dedicar mais tempo ao estudo de diagnóstico e elaboração do projeto de reabilitação;
- O registo das patologias baseado em três níveis de observação eleva o estudo de diagnóstico a um novo patamar, registando-se as anomalias em todo o elemento fachada e não somente numa parte, bem como as patologias não visíveis;
- A possibilidade de correlacionar espacialmente as patologias possibilita aferir com rigor a existência de pontos críticos, bem como a potencial relação causa-efeito, desenvolvendo-se, desta forma, uma nova abordagem à patologia;
- O registo gráfico à escala permite quantificar a extensão da área das patologias, contribuindo para uma avaliação do tipo de intervenção a efetuar e permitindo, ainda, uma possibilidade de monitorização da evolução das patologias.

As principais limitações relacionam-se com a impossibilidade de registar patologias ocultas por obstruções físicas, que sejam impossíveis de ultrapassar, e edifícios com volumetrias complexas, que condicionem a visualização das patologias devido ao efeito de perspetiva.

Apresenta-se na Fig. 4.29 um esquema síntese da metodologia descrita:

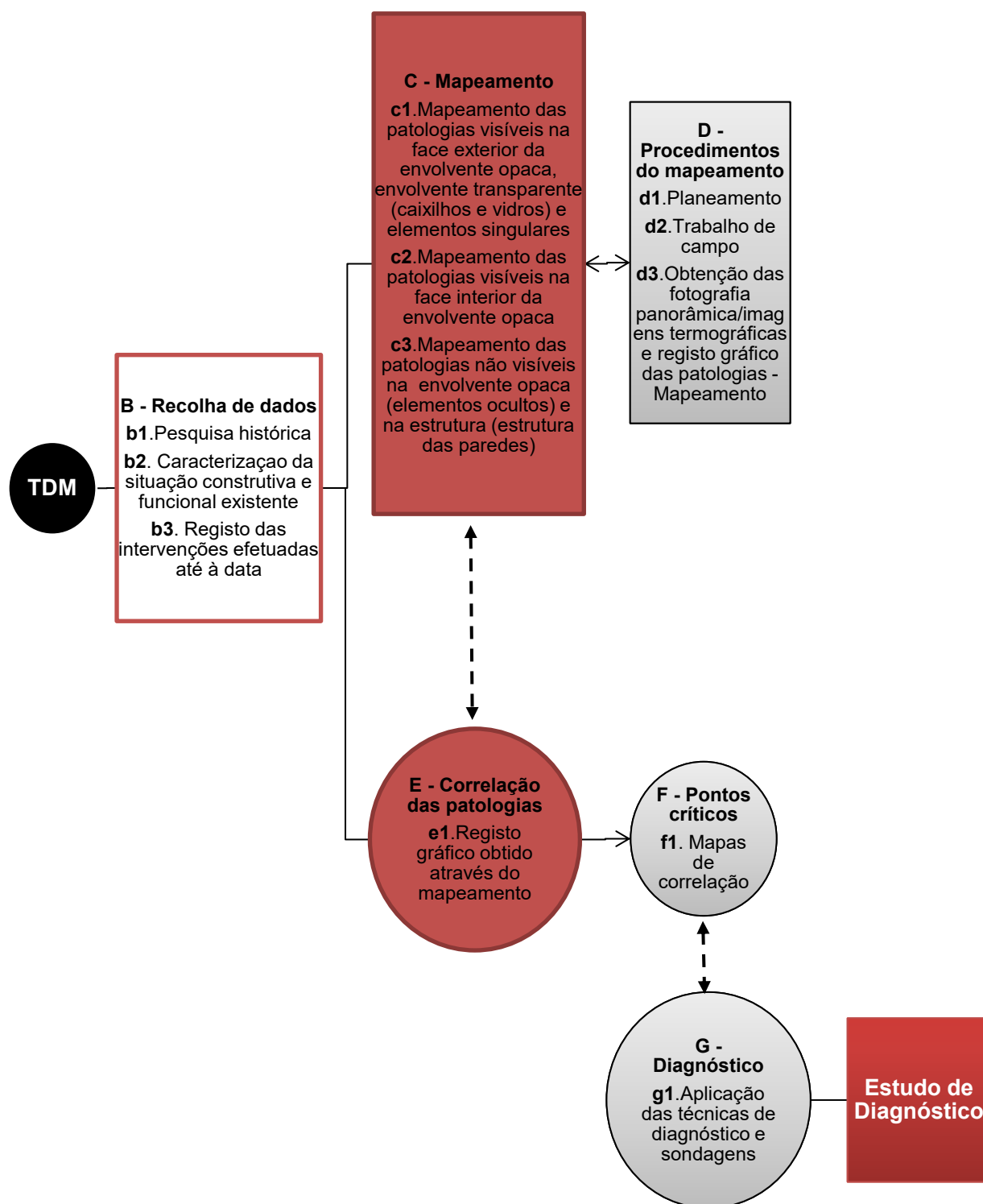


Fig. 4.29 – Organograma da metodologia TDM

5

CASO DE ESTUDO

5.1. NOTA INTRODUTÓRIA

Pretende-se que a técnica de diagnóstico e mapeamento de patologias em fachadas – TDM, desenvolvida neste trabalho, seja aplicada numa abordagem metodológica a um caso de estudo teórico. A ausência do carácter prático deste caso de estudo justifica-se pela falta dos equipamentos obrigatórios para a obtenção das fotografias panorâmicas de alta resolução, nomeadamente a máquina fotográfica, a objetiva, a plataforma robótica e o tripé, descritos no capítulo anterior. Consequentemente, algumas patologias e características de alguns elementos serão recriados, com o objetivo de simular situações reais. Para simplificação, será desenvolvida a metodologia unicamente para uma das fachadas do edifício, em concreto a fachada nascente.

Todavia, será expetável que a aplicação da metodologia de diagnóstico e mapeamento de patologias em fachadas, mesmo que exclusivamente numa abordagem metodológica, permita aferir todas as potencialidades desta técnica inovadora. Apresenta-se no quadro 5.1 a caracterização construtiva e funcional do edifício.

5.2. PESQUISA HISTÓRICA

Tendo em conta o ano de construção do edifício objeto de estudo (edifício de construção corrente, edificado em 1997), o carácter histórico da edificação não é relevante.

Tradicionalmente, em edifícios desta época, não existem intervenções efetuadas.

5.3. RECOLHA E ANÁLISE DA INFORMAÇÃO ESCRITA E DESENHADA DISPONÍVEL

No que diz respeito a elementos existentes do edifício em estudo, foram consultados os arquivos de licenciamento e da administração do condomínio. Apenas foi possível obter as plantas dos pisos, em formato *pdf*, sem escala, e a memória descritiva com indicação das características construtivas da estrutura do edifício.

Para a caracterização da constituição das paredes exteriores do edifício, recorreu-se à videoscopia, após a realização de um pequeno furo pelo interior da parede exterior, que permitiu aferir a constituição deste elemento. A localização dos elementos estruturais será analisada através da termografia de infravermelhos, numa fase posterior. Apresenta-se no quadro 5.1 a caracterização construtiva e funcional do edifício em estudo.

Quadro 5.1 – Caracterização construtiva e funcional

| Caracterização construtiva | |
|--|---|
| Fundações | Sapatas individuais em betão armado |
| Estrutura | Solução porticada tradicional de estrutura em betão armado e lajes aligeiradas de vigotas pré-esforçadas |
| Cobertura | Cobertura plana tradicional com três telas betuminosas cruzadas e isolamento térmico em placas de poliestireno extrudido com 4 cm, com finalização em lajetas |
| Alvenarias exteriores | Parede dupla com tijolo vazado de 15 cm e 11cm, com caixa de ar de 6 cm, isolamento térmico em placas de poliestireno extrudido de 4 cm |
| Alvenarias interiores | Paredes em alvenaria de tijolo vazado de 11 cm |
| Revestimentos paredes exteriores | Ladrilho cerâmico |
| Revestimentos paredes interiores | Acabamento estanhado nas zonas secas e ladrilho cerâmico nas zonas húmidas |
| Vãos exteriores | Caixilharia simples de correr em alumínio termolacado com vidros duplos |
| Vãos interiores | Portas com estrutura aligeirada folheada a carvalho com vidro de 5mm (quando aplicável) |
| Caracterização funcional | |
| Edifício de habitação multifamiliar, constituído por rés do chão, três pisos e recuado. O rés do chão destina-se a estacionamento automóvel, sendo os restantes pisos destinados a habitação | |

5.4. MAPEAMENTO DAS PATOLOGIAS DAS FACHADAS

5.4.1. MAPEAMENTO DAS PATOLOGIAS VISÍVEIS NA FACE EXTERIOR DA ENVOLVENTE OPACA, ENVOLVENTE TRANSPARENTE (CAIXILHOS E VIDROS) E ELEMENTOS SINGULARES (CORNIJAS, PEITORIS, JUNTAS DE DILATAÇÃO/CUNHAIS, SALIÊNCIAS E CORPOS EM CONSOLA/BALANÇO)

5.4.1.1. Planeamento

- Definição dos equipamentos e *softwares* a utilizar

Quadro 5.2 – Equipamentos e *softwares* para o mapeamento das patologias visíveis na face exterior da envolvente opaca, envolvente transparente e elementos singulares

| Especificação dos equipamentos | |
|---------------------------------------|-------------------------------------|
| Câmara digital | |
| Canon EOS 80D | |
| Tipo | DSLR |
| Distância focal | 1,6x da distância focal da objetiva |
| Tipo de sensor | CMOS de 22,3mm x 14,9mm |
| Tamanho do sensor da imagem | 22,3mm x 14,9mm |
| Tamanho máximo da imagem | 6000 x 4000 Pixels (formato 3:2) |
| Objetiva | |
| Sigma 70-300mm F4-5.6 APO DG Macro | |
| Tipo | Objetiva de zoom |
| Distância focal | 70-300mm |
| Distância focal mínima | 95cm |
| Plataforma robótica | |

| |
|------------------------------------|
| GigaPan EPIC 100 |
| Tripé |
| Profissional |
| Especificação dos Softwares |
| Autocad, Autopano Giga e Photoshop |

Os equipamentos apresentados no quadro 5.2 correspondem aos necessários para a realização da técnica de fotogrametria digital terrestre 2D potenciada, apresentada no capítulo anterior. Conforme foi indicado, não foi possível aceder aos equipamentos necessários para a concretização da técnica na sua versão potenciada. Reconhecendo-se a importância da obtenção de um registo fotográfico para a presente abordagem metodológica, utilizou-se uma máquina digital tradicional – Canon EOS X3, munida de uma objetiva 18-55mm, que permite apenas utilizar a ferramenta de fotogrametria digital terrestre 2D, na sua forma tradicional. Desta forma, será possível quantificar o diferencial de precisão que se obtém utilizando a técnica na sua versão tradicional, comparativamente à sua versão potenciada, confirmando-se a capacidade tecnológica descrita no Capítulo 4.

ii. Localização e posicionamento dos equipamentos

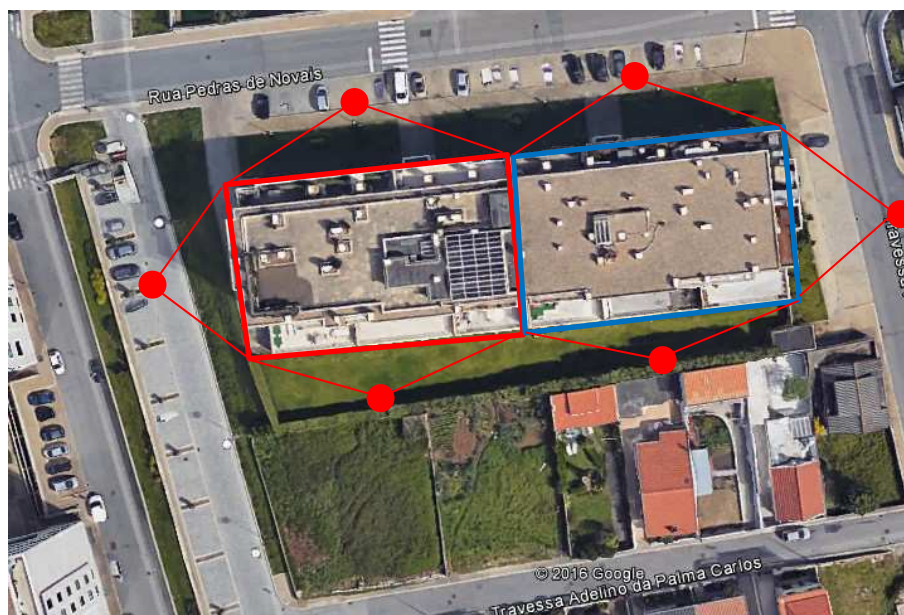


Fig.5.1 – Estudo da localização e posicionamento dos equipamentos com recurso ao Google Earth

iii. Medição da distância do equipamento ao edifício

No ponto mais desfavorável relativamente à precisão (ponto mais distante do equipamento ao edifício), a distância é de, aproximadamente, 25m.

iv. Cálculo do tamanho do *pixel*

Na perspetiva da utilização do equipamento definido para a realização da técnica de fotogrametria potenciada, teríamos:

$$TP = \frac{H \times d}{NP \times c} \quad (2)$$

$$H = 25000 \text{ mm}$$

$$d = 22,30 \text{ mm}$$

$$NP = 6000 \text{ pixels}$$

$$c = 300 \text{ mm}$$

$$TP = \frac{25000 \times 22,30}{6000 \times 300} = 0,31$$

Com o equipamento utilizado, que permite unicamente o recurso à fotogrametria na sua forma mais simples, temos:

$$TP = \frac{H \times d}{NP \times c}$$

$$H = 25000 \text{ mm}$$

$$d = 22,30 \text{ mm}$$

$$NP = 4752 \text{ pixels}$$

$$c = 30 \text{ mm}$$

$$TP = \frac{25000 \times 22,30}{4752 \times 30} = 3,90$$

Ou seja, com os equipamentos e a técnica apresentada na metodologia proposta, a precisão é cerca de doze vezes superior, quando comparada com o recurso à fotogrametria na sua forma tradicional, o que reflete o enorme potencial de precisão da técnica proposta.

5.4.1.2. Trabalho de campo

i. Confirmação do posicionamento e montagem dos equipamentos

De acordo com dados recolhidos no local sobre possíveis obstruções à recolha das imagens panorâmicas de alta resolução, verificou-se que na fachada orientada a sul existe um desnível topográfico que condiciona a correta obtenção das imagens. A alternativa será a localização dos equipamentos na zona privada do edifício, mais concretamente na zona ajardinada localizada a sul. Observou-se ainda na fachada orientada a nascente a presença de elementos verdes junto à fachada, que impossibilitam a visualização da totalidade do alçado. Neste caso, para mapear as patologias ocultas pelo elemento natural, verifica-se a necessidade de realizar um levantamento fotográfico de pormenor na área obstruída. O registo das anomalias ao nível do piso recuado também apresentou dificuldades. Tratando-se de uma fachada recuada, a vista captada pela máquina (e pela visão humana) ao nível do solo não consegue alcançar a totalidade deste piso. Nestes casos, terão de ser recolhidos os dados necessários, diretamente no terraço correspondente.

Os equipamentos são montados conforme descrição expressa na metodologia.

ii. Parametrização dos equipamentos

Realiza-se a parametrização dos equipamentos conforme descrito no Capítulo 4.

iii. Execução das fotografias

Segundo a metodologia proposta, os fotogramas seriam executados com suporte da plataforma robótica GigaPan EPIC 100. Neste caso de estudo a execução das fotografias ocorre de forma tradicional.

5.4.1.3. Obtenção da fotografia panorâmica de alta resolução (*Gigapixel*) e registo das patologias – Mapeamento

i. Processamento e geração das imagens panorâmicas

Com recurso do *software* Autopano Giga proceder-se-ia ao processamento e geração das imagens panorâmicas, após o carregamento para o computador via *USB* dos fotogramas. Como no caso de estudo apresentado foi utilizada uma máquina fotográfica digital tradicional, em que foi obtida unicamente uma fotografia de cada um dos alçados dos edifícios, este passo não foi concretizado.

ii. Retificação das imagens panorâmicas

Com as fotografias obtidas dos alçados, realiza-se neste ponto a retificação das imagens dos alçados, novamente com recurso ao *software* Autopano Giga. O resultado obtido com a retificação ilustra-se na Fig. 5.2.



Fig.5.2 – Fotografia recolhida e fotografia retificada com o *software* Autopano Giga (elaboração própria)

iii. Ajuste da escala das imagens panorâmicas

O ajuste da escala das imagens dos alçados (entretanto já retificadas) requerem o conhecimento das dimensões reais do edifício. Para tal, realizou-se uma medição *in situ* da dimensão do comprimento dos alçados, para posteriormente, através do *software* Autocad, se proceder à correção da escala das fotografias. A fotografia do alçado com a escala corrigida e o respetivo desenho do alçado podem ser visualizados nos Anexos – desenho nº 2.

iv. Mapeamento das patologias – registo gráfico em Autocad

Presentemente, estão recolhidos todos os dados e informações necessários para o registo gráfico das anomalias. Sobre a fotografia panorâmica e através de *polylines* (respeitando o código de *layers* e de patologias apresentado), são circunscritas todas as patologias visíveis. O resultado deste registo gráfico de mapeamento pode ser visualizado nos Anexos – desenho nº 3.

5.4.2. MAPEAMENTO DE PATOLOGIAS VISÍVEIS NA FACE INTERIOR DA ENVOLVENTE OPACA

5.4.2.1. Planeamento

- i. Definição dos equipamentos e *softwares* a utilizar (quadro 5.3)

Quadro 5.3 – Equipamentos e *softwares* para o mapeamento das patologias visíveis na face interior da envolvente opaca

| Especificação dos equipamentos | |
|------------------------------------|-------------------------------------|
| Câmara digital | |
| Canon EOS 80D | |
| Tipo | DSLR |
| Distância focal | 1,6x da distância focal da objetiva |
| Tipo de sensor | CMOS de 22,3mm x 14,9mm |
| Tamanho do sensor da imagem | 22,3mm x 14,9mm |
| Tamanho máximo da imagem | 6000 x 4000 Pixels (formato 3:2) |
| Objetiva | |
| Sigma 70-300mm F4-5.6 APO DG Macro | |
| Tipo | Objetiva de zoom |
| Distância focal | 70-300mm |
| Distância focal mínima | 95cm |
| Plataforma robótica | |
| GigaPan EPIC 100 | |
| Tripé | |
| Profissional | |
| Especificação dos <i>Softwares</i> | |
| Autocad, Autopano Giga e Photoshop | |

- ii. Localização e posicionamento dos equipamentos

Seguindo a metodologia proposta, estuda-se o posicionamento dos equipamentos sobre as plantas do edifício, piso a piso, compartimento a compartimento, conforme se ilustra na Fig. 5.3.

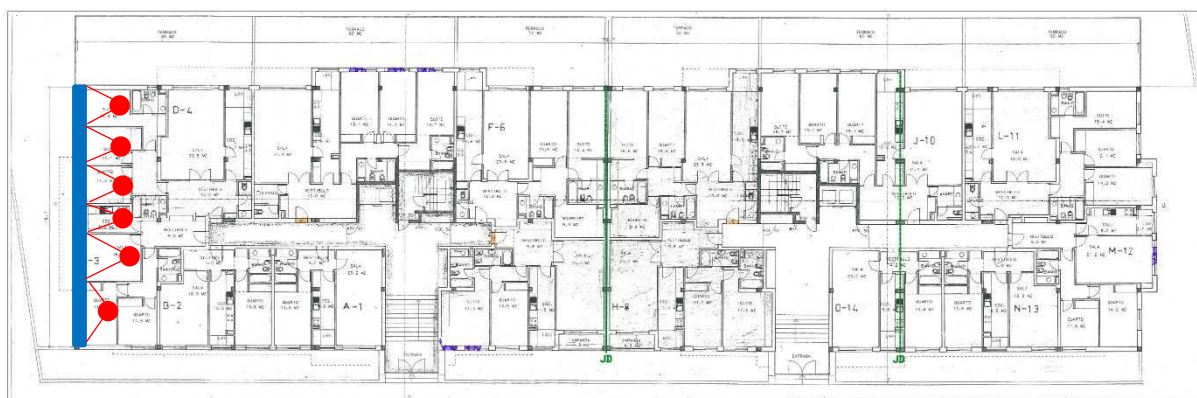


Fig.5.3 – Estudo do posicionamento dos equipamentos sobre as plantas do edifício (elaboração própria)

- iii. Medição da distância do equipamento à fachada

Para efeitos do cálculo do tamanho do *pixel*, medem-se as distâncias do equipamento à fachada de todos os posicionamentos que foram tomados nos diversos compartimentos.

iv. Cálculo do tamanho do *pixel*

Através da fórmula de cálculo expressa no Capítulo 4, calcula-se o tamanho do *pixel*, permitindo, desta forma, calcular o tamanho real do objeto em estudo, e avaliando o grau de precisão obtido.

5.4.2.2. Trabalho de campo

i. Confirmação do posicionamento e montagem dos equipamentos

No local, confirmam-se as posições dos equipamentos pré-estudadas, registando todas as obstruções que poderão surgir na obtenção das fotografias, e, nesses casos, estudam-se as alternativas para a aquisição dos dados em falta.

ii. Parametrização dos equipamentos

Os equipamentos são parametrizados de acordo com os procedimentos descritos na metodologia.

iii. Execução das fotografias

Executam-se as fotografias, conforme descrito no Capítulo 4.

5.4.2.3. Obtenção da fotografia panorâmica de alta resolução (*Gigapixel*) e registo das patologias – Mapeamento

i. Processamento e geração das imagens panorâmicas

À partida, tratando-se de um edifício de habitação multifamiliar, e, consequentemente, compartimentado, não terá sido necessário recorrer à captação de imagens panorâmicas. De acordo com o que foi demonstrado na metodologia, a execução de fotografias digitais simples permitirá obter o grau de precisão desejado.

ii. Retificação das imagens panorâmicas

Nesta fase, procede-se à retificação das fotografias obtidas com recurso ao *software* Autopano Giga.

iii. Ajuste da escala das imagens panorâmicas

À semelhança do que foi descrito no mapeamento das patologias visíveis no plano exterior, através do *software* Autocad, ajusta-se a escala das fotografias, de acordo com as dimensões reais.

iv. Mapeamento das patologias – registo gráfico em Autocad

Mais uma vez, estão recolhidos todos os dados e informações necessários para o registo gráfico das anomalias. Através de *polylines*, e, respeitando o código de *layers* e de patologias apresentado, são circunscritas todas as patologias visíveis.

Uma vez que não foi possível aceder ao interior das habitações, o resultado gráfico das patologias exibidas nos Anexos – desenho nº 4 – foi totalmente recriado.

5.4.3. MAPEAMENTO DE PATOLOGIAS NÃO VISÍVEIS NA ENVOLVENTE OPACA (ELEMENTOS OCULTOS) E ESTRUTURA (ESTRUTURA DAS PAREDES)

5.4.3.1. Planeamento

i. Definição dos equipamentos e *softwares* a utilizar (quadro 5.4)

Quadro 5.4 – Equipamentos e *softwares* para o mapeamento das patologias não visíveis na envolvente opaca (elementos ocultos) e estrutura (estrutura das paredes)

| Especificação dos equipamentos |
|---|
| Câmara termográfica |
| <i>Thermo Tracer TH9100 MR</i> |
| Termo higrómetro |
| <i>Protimeter MMS2</i> |
| Datalogger |
| <i>HOBO U12 Temp/HR Data Logger</i> |
| Emissómetro |
| <i>AE1 Emissometer</i> |
| Tripé e bússola |
| Pacómetro |
| Especificação dos Softwares |
| <i>Autocad, Autopano Giga, Photoshop, INFREC ANALYZER NS9500 LT, Wufi</i> |

ii. Localização e posicionamento dos equipamentos

Os equipamentos são posicionados de acordo com um estudo semelhante ao apresentado para as patologias visíveis no plano exterior. No entanto, face às características deste tipo de equipamento, deve ter-se especial atenção à incidência do sol no edifício, de forma a evitar condicionamentos nos dados recolhidos.

iii. Recolha de informação do elemento construtivo e estrutura resistente

Para a realização da análise higrotérmica, deveremos estar na posse de toda a informação que permita conhecer rigorosamente a tecnologia da fachada. À partida, estes dados já foram recolhidos no início do processo, junto das entidades licenciadoras. Contudo, caso esses elementos não existam, é necessário nesta fase, planear o tipo de sondagens a ser realizadas durante o trabalho de campo, necessárias para o conhecimento da composição do elemento.

5.4.3.2. Trabalho de campo

i. Confirmação do posicionamento e montagem do equipamento

Confirmam-se, mais uma vez, as eventuais obstruções que possam condicionar a localização dos equipamentos pré-estudada.

ii. Calibração do equipamento

Calibra-se o equipamento termográfico de acordo com as indicações constantes no manual de instruções fornecido pelo fabricante. É suposto dominar-se os valores da emissividade dos materiais que constituem a fachada.

iii. Execução das imagens termográficas

Executam-se as imagens termográficas, conforme descrito no Capítulo 4.

iv. Sondagens e ensaios

Nesta abordagem metodológica de caso de estudo, não se obteve informação referente à constituição das fachadas. Nestes casos, através da videoscopia, é possível de forma praticamente não destrutiva obter informação sobre as diferentes camadas que compõem o elemento.

Os materiais e espessuras considerados neste caso de estudo foram recriados, uma vez que na prática não foi realizada qualquer sondagem.

5.4.3.3. Obtenção das imagens termográficas, resultados obtidos com o *software* de cálculo higrotérmico e registo gráfico das patologias - Mapeamento

i. Obtenção das imagens termográficas

De acordo com o descrito na metodologia.

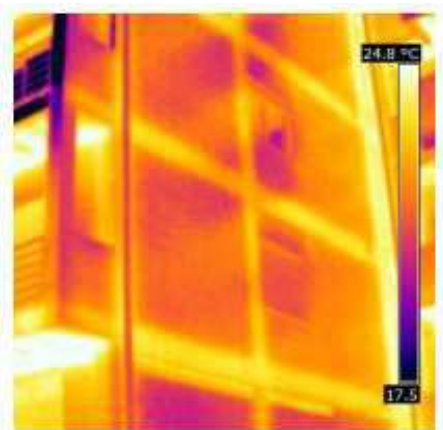


Fig.5.4 – Identificação de pontes térmicas com recurso à termografia de infravermelhos [36]

ii. Retificação das imagens termográficas

De acordo com o descrito na metodologia.

iii. Ajuste da escala das imagens termográficas

De acordo com o descrito na metodologia.

iv. Realização dos cálculos higrotérmicos com recurso ao Condensa 2000

Na metodologia foi apontado o recurso ao *software* de cálculo higrotérmico Wufi. Com este *software* tenciona-se quantificar o risco de condensações internas do elemento construtivo em estudo. Uma vez que não foi possível obter acesso à versão profissional do referido *software*, e que no caso concreto de avaliação de condensações internas não se justifica, optou-se pelo cálculo com recurso ao *software* condensa 2000, da autoria do Professor Vasco Freitas, do Eng.º Armandino Silva e do Eng.º J. Gabriel Silva.

A tecnologia recriada para as fachadas do presente caso de estudo apresenta-se na Fig. 5.5 e teve por base a constituição típica de uma fachada dos anos 90.

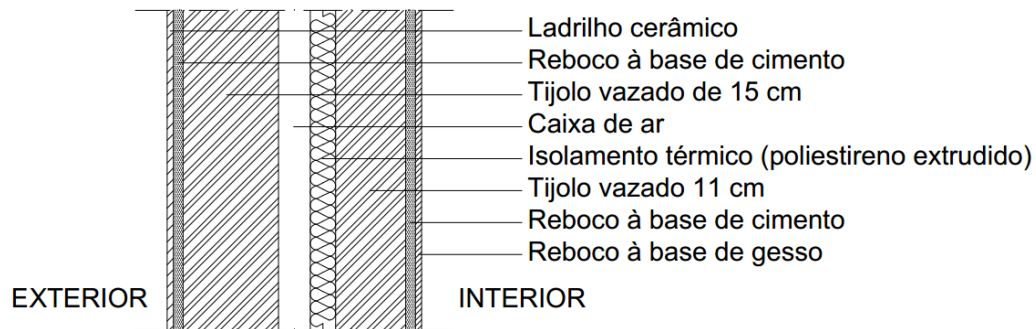


Fig.5.5 – Tecnologia das fachadas (elaboração própria)

Os dados dos Coeficientes de Condutibilidade Térmica (λ), e de Permeabilidade ao Vapor de Água (π), referentes às camadas que compõem elemento construtivo, tiveram por base os valores constantes no ITE 50 e na NIT002. Nos casos em que apenas se conheça a resistência térmica (R_t) da camada, deve-se calcular um valor equivalente do Coeficiente de Condutibilidade Térmica (λ_{eq}), de acordo com a seguinte fórmula:

$$\lambda_{eq} = e/R_t \quad (3)$$

Onde:

λ_{eq} = Coeficiente de Condutibilidade térmica equivalente [W/(m. °C)]

e = espessura da camada [m]

R_t = Resistência térmica da camada [(m². °C)/W]

| N.º Camada | Espessura [m] | dx [m] | λ [W/m.°C] | π [g/(m.h.mmHg)] |
|------------|---------------|--------|--------------------|----------------------|
| 1 | 0.01 | 0.001 | 0.6 | 1.10E-02 |
| 2 | 0.015 | 0.0015 | 1.3 | 4.03E-03 |
| 3 | 0.15 | 0.015 | 0.385 | 1.88E-02 |
| 4 | 0.05 | 0.005 | 0.45 | 1.00E-01 |
| 5 | 0.04 | 0.004 | 0.037 | 8.50E-04 |
| 6 | 0.11 | 0.011 | 0.407 | 1.38E-02 |
| 7 | 0.015 | 0.0015 | 1.300 | 4.03E-03 |
| 8 | 0.010 | 0.001 | 0.570 | 1.30E-02 |
| | | | | |
| | | | | |

Fig.5.6 – Características das camadas que compõem o elemento [53]

O período especificado para o cálculo foi de 365 dias, repartidos com quatro períodos temporais, cujos dados de temperatura e humidade relativa estão de acordo com a quatro estações do ano.

| N.º Intervalo de Tempo | Tint [°C] | Text [°C] | HRint [%] | HRext [%] | Duração [h] |
|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| 1 | 15 | 8 | 60 | 70 | 2190 |
| 2 | 17 | 15 | 40 | 60 | 2190 |
| 3 | 20 | 25 | 30 | 40 | 2190 |
| 4 | 17 | 15 | 50 | 65 | 2190 |

Fig.5.7 – Características de cada intervalo de tempo [53]

Os resultados obtidos, materializados graficamente através do Diagrama de *Glaser*, demonstram que não existe risco de condensações internas neste elemento.

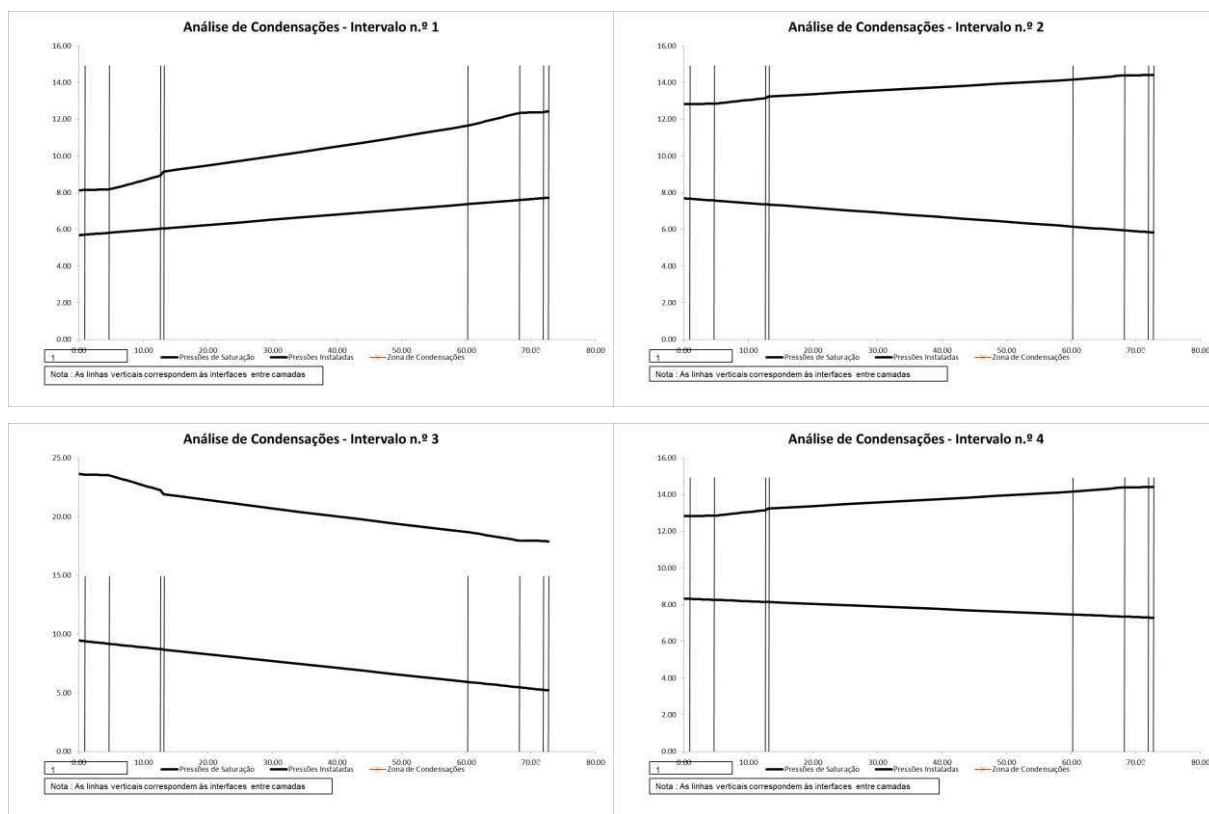


Fig.5.8 – Análise de condensações internas, nos quatro intervalos de tempo definidos, através do Diagrama de *Glaser* [53]

v. Mapeamento das patologias – registo gráfico em Autocad

Da observação qualitativa das imagens termográficas e da análise dos resultados sobre o risco de condensações internas, conclui-se que as patologias não visíveis se limitam à existência de pontes térmicas coincidentes com os elementos estruturais na fachada – pilares e vigas –, que não se encontram isolados termicamente. O resultado gráfico do mapeamento das patologias não visíveis pode ser consultado nos Anexos – desenho nº 5.

5.5. CORRELAÇÃO DAS PATOLOGIAS

5.5.1. ANÁLISE FUNDAMENTADA NO REGISTO GRÁFICO OBTIDO ATRAVÉS DO MAPEAMENTO – MAPAS DE CORRELAÇÃO

A análise do grau de correlação que se verifica entre os mapeamentos realizados é de extrema importância, no sentido de averiguar a possibilidade de relações causa-efeito entre as patologias registadas nos três níveis de observação: as patologias visíveis na face exterior da fachada, as visíveis na face interior e as não visíveis.

Perspetiva-se, desta forma, avaliar a origem de determinadas patologias e a sua manifestação, contribuindo para a realização de um diagnóstico mais rigoroso.

Foram desenvolvidos os mapas de correlação para o presente caso de estudo, podendo-se consultar a sua representação gráfica, onde se encontram devidamente assinaladas as correlações existentes provenientes da sua sobreposição espacial nos Anexos – desenhos nº 6, 7 e 8.

Desta forma, analisando o mapa de correlação 1, verifica-se uma forte correlação entre as patologias E8 (fissuração predominantemente vertical) e I4 (fissuração sem orientação preferencial – craquelê). Identifica-se, assim, um ponto crítico, que na fase de inspeção e diagnóstico deve ser estudada a sua relação causa-efeito.

Da análise do mapa de correlação 2, foram identificados como pontos críticos a correlação entre as patologias E8 (fissuração predominantemente vertical) e O4 (pontes térmicas), e entre as patologias E6 (fissuração/deterioração das juntas de ladrilhos) e O4 (pontes térmicas).

Por fim, no mapa de correlação 3, com o grau de correlação fraco, foi identificado o ponto crítico com origem na sobreposição espacial entre as patologias I14 (colonização biológica) e O4 (pontes térmicas).

5.6. DIAGNÓSTICO

5.6.1. APLICAÇÃO DAS TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO E SONDAGENS E ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

A aplicação das técnicas de diagnóstico tem por base o quadro 3.2 do Capítulo 3, onde as técnicas são agrupadas em função do componente do elemento construtivo, apresentadas no quadro 5.5.

Quadro 5.5 – Técnicas de ensaio e sondagens a realizar em função do componente do elemento

| Patologias | Componente | Código técnica |
|--|--------------------------------------|----------------|
| E6 - Fissuração/deterioração de juntas de ladrilhos | Envoltente opaca - face exterior | TM_FF |
| E8 - Fissuração predominantemente vertical | Envoltente opaca - face exterior | TM_FF |
| E14 - Destacamento ladrilho cerâmico | Envoltente opaca - face exterior | TAM_P-O |
| E15 - Eflorescências/criptoflorescências | Envoltente opaca - face exterior | - |
| E17 - Sujidade/manchas de poluição | Envoltente opaca - face exterior | - |
| E19 - Corrosão de elementos metálicos | Pontos singulares | - |
| I4 - Fissuração sem orientação preferencial – craquelê | Envoltente opaca - face interior | TM_FF |
| I14 - Colonização biológica | Envoltente opaca - face interior | TEEM_T |
| I16 - Humidade de infiltração | Envoltente opaca - face interior | Sondagem |
| O4 - Pontes térmicas | Envoltente opaca - elementos ocultos | TEEM_T |

5.6.2. ELABORAÇÃO DO ESTUDO DE DIAGNÓSTICO

Na elaboração do estudo de diagnóstico devem ser analisadas as informações provenientes dos mapas de correlação, dos resultados dos ensaios e sondagens.

Esta análise detalhada permitirá a obtenção de um estudo de diagnóstico rigoroso, suportado em informação recolhida em todo o elemento construtivo, à semelhança de um raio-x.

O tipo de intervenção a adotar para a solução das patologias mapeadas variará em função da percentagem de área da fachada afetada pelas patologias, de acordo com a seguinte escala, embora esta divisão seja discutível:

- Área da fachada afetada <10% - intervenção pontual;
- Área da fachada afetada entre 10% e 70% - intervenção moderada;
- Área da fachada afetada >70% - intervenção global.

Com a metodologia proposta, a quantificação dos parâmetros mencionados é bastante expedita. Facilmente, com recurso ao *software* Autocad, realizam-se as medições de cada tipo de patologia e a sua prevalência, conforme se ilustra no quadro 5.6.

Quadro 5.6 – Quantificação da área afetada pelas patologias

| Patologia | Área da patologia (m²) | Área da fachada (m²) | % de área afetada |
|--|------------------------|----------------------|-------------------|
| E6 - Fissuração/deterioração de juntas de ladrilhos | 40.99 | 250.80 | 16.3% |
| E8 - Fissuração predominantemente vertical | 52.82 | | 21.1% |
| E14 - Destacamento ladrilho cerâmico | 8.90 | | 3.5% |
| E15 - Eflorescências /criptoflorescências | 0.01 | | 0.0% |
| E17 - sujidade/manchas de poluição | 2.87 | | 1.1% |
| E19 - Corrosão de elementos metálicos | 0.02 | | 0.0% |
| I4 - Fissuração sem orientação preferencial – craquelê | 6.29 | | 2.5% |
| I14 - Colonização biológica | 4.69 | | 1.9% |
| I16 - Humidade de infiltração | 1.48 | | 0.6% |
| O4 - Pontes térmicas | 30.22 | | 12.0% |
| Área total das patologias | 148.28 | | 59.1% |

Com base em todos os elementos descritos, a realização do estudo de diagnóstico e respetiva proposta de soluções, poderá ser caracterizada com rigor e objetividade.

5.7. SÍNTESE DE CAPÍTULO

A Fig. 5.9 faz o enlace de toda a metodologia proposta aplicada de forma metodológica ao presente caso de estudo teórico:

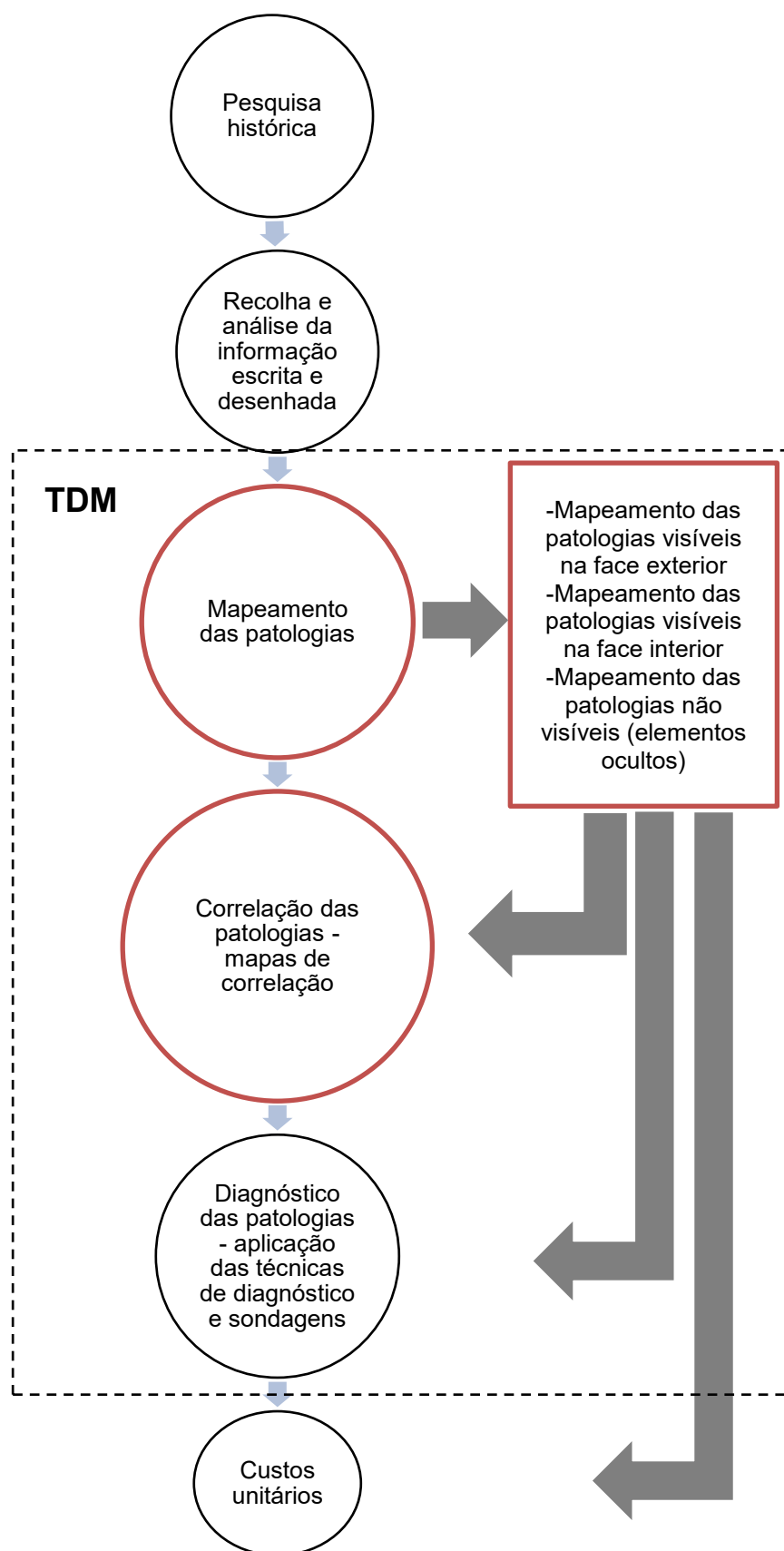


Fig.5.9 – Enquadramento da TDM

A aplicação desta metodologia reveste-se de simplicidade, permitindo a concretização de um mapeamento detalhado de todas as patologias passíveis de verificação nos três níveis de observação.

Posto isto, destacam-se os seguintes aspetos:

- O grau de precisão alcançado com a ferramenta de fotogrametria digital terrestre 2D na versão potenciada é substancialmente superior à descrita no Capítulo 2, o que permite obter uma precisão no mapeamento das patologias bastante superior;
- Denota-se alguma dificuldade na aquisição das fotografias panorâmicas quando existem obstruções físicas, obrigando a desenvolver soluções pragmáticas para ultrapassar esta questão, recorrendo, por exemplo, a fotografias de pormenor da área obstruída;
- A correlação entre as patologias mapeadas contribui, efetivamente, para a análise das possíveis relações causa-efeito, promovendo um estudo de diagnóstico rigoroso.

6

CONCLUSÃO

6.1. CONCLUSÕES GERAIS

Após o estudo sistemático conduzido até este ponto, finaliza-se este trabalho extraindo o potencial da metodologia TDM, que se fundamenta num conjunto de conclusões e na resposta às questões levantadas no Capítulo 1.

Face à dinâmica da recuperação de edifícios que se tem observado, sobretudo nos grandes centros urbanos, bem como a necessidade de reabilitação de edifícios mais recentes, é crítico promover estudos de diagnóstico rigorosos. Sendo as fachadas um dos elementos mais afetados pelas patologias da construção, reconhece-se a pertinência de dispor de técnicas de mapeamento que registem com rigor as suas manifestações patológicas.

Conforme descrito, são múltiplas as técnicas de mapeamento de patologias em fachadas, as quais foram objeto de reflexão, no sentido de compreender até que ponto seriam suficientes para um mapeamento correto e ambicioso, que permitisse registar de forma inequívoca as anomalias das fachadas. Concluiu-se que as técnicas mais simples, apresentam inúmeras limitações, sendo as mais relevantes a falta de precisão alcançada com a sua aplicação, além do risco de acidente para o operador. Contrariamente, as técnicas mais elaboradas, apesar de permitirem alcançar uma precisão mais significativa, representam um custo importante.

Por outro lado, todas as técnicas, à exceção da termografia de infravermelhos, se centram unicamente no mapeamento das patologias visíveis na face exterior das fachadas, desprezando as anomalias que existem na face interior destes elementos. Por conseguinte, o diagnóstico alcançado com as técnicas presentes é totalmente omissivo relativamente à relação causa-efeito entre as patologias.

Confirmado o carácter inovador da metodologia proposta, constata-se que o seu potencial conduz à elaboração de estudos de diagnóstico rigorosos, alcançados através do conhecimento profundo das patologias das fachadas dos edifícios.

Este potencial advém fundamentalmente de:

- Economia de tempo na recolha de dados das patologias das fachadas, através da ferramenta de fotogrametria;
- Incremento da segurança do operador, pelo levantamento remoto das manifestações patológicas;
- Alcance de uma precisão considerável das patologias visíveis, através da ferramenta de fotogrametria digital terrestre 2D, numa versão potenciada, permitindo visualizar com elevado rigor as manifestações patológicas;

- Possibilidade de quantificar a área correspondente a cada patologia, contribuindo para definir o tipo de intervenção a adotar;
- Abordagem total ao elemento em análise, através da sua observação em três níveis: patologias visíveis na face exterior, patologias visíveis na face interior e patologias não visíveis;
- Exequibilidade para correlacionar as patologias registadas nos três níveis de observação, contribuindo para a análise aprofundada da sua relação causa-efeito;
- Aplicação de técnicas de diagnóstico, em função do componente a analisar;
- Viabilidade para a realização de levantamentos arquitetónicos das fachadas dos edifícios;
- Oportunidade de monitorização da evolução das patologias através de registos gráficos mensuráveis.

Naturalmente, esta metodologia não é isenta de limitações, as quais se assinalam seguidamente:

- Impossibilidade de mapear as patologias que se encontrem afetadas por obstruções físicas, tais como elementos verdes, mobiliário fixo, automóveis, entre outros;
- As fotografias panorâmicas obtidas com a ferramenta de fotogrametria digital terrestre 2D, na sua versão potenciada, são extremamente “pesadas”, exigindo meios computacionais mais potentes;
- Para se alcançar um nível de precisão fotográfica mais expressivo, será exigível o recurso a equipamentos mais potentes, nomeadamente ao nível das objetivas, elevando o custo desta metodologia.

Globalmente, o *trade-off* estabelecido entre as potencialidades e limitações da metodologia proposta, permite reconhecer esta como uma resposta promissora às problemáticas identificadas.

6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

No presente trabalho, a abordagem às patologias dos edifícios limitou-se às patologias das fachadas, numa observação bidimensional.

Não obstante, as patologias dos edifícios atingem todos os seus elementos e as correlações que existem não se limitam às descritas.

Assim, julgamos ser pertinente a continuidade do desenvolvimento deste trabalho procurando incluir todos os elementos do edifício (fundações, estrutura resistente, cobertura, fachadas, instalações, caixilhos interiores, paredes interiores, pavimentos, tetos e escadas), numa abordagem tridimensional, através de um *software* suportado pelo fluxo de trabalho *BIM*.

Será, desta forma, alcançada a integração total das patologias dos vários elementos e componentes dos edifícios, observando-se tridimensionalmente a possível correlação de uma forma aprofundada e completa, com a inclusão de dados paramétricos dos elementos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

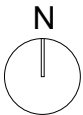
- [1] Appleton, J., *Reabilitar a Reabilitação*, in *Pedra & Cal*. 2003.
- [2] Córias, V., *A Caminho da Qualidade na Reabilitação do Edificado e do Património*, in *Semana da Reabilitação Urbana*, S.d.R. Urbana, Editor. 2014: Lisboa.
- [3] Guimarães, A.S., et al., *Manual de Apoio ao Projecto de Reabilitação de Edifícios Antigos*, ed. O.d.E.d.R. Norte. 2012.
- [4] Amaral, S.F.M., *Inspeção e Diagnóstico de Edifícios Recentes. Estudo de um Caso Real*, in *Engenharia Civil*. 2013, ISEL: ISEL.
- [5] Costa, M.S., *Identificação de Danos em Fachadas de Edificações por Meio de Imagens Panorâmicas Geradas por Plataforma Robótica Fotográfica*, in *Estruturas e construção civil*. 2014, Universidade de Brasília.
- [6] Cabredo, L.V., *Patología de la Construcción de una "obra en tres atos": problema, investigación y rehabilitación*, in *Patorreb*. 2009.
- [7] IST, *Metodologias de Inspeção*. IST: IST.
- [8] Vítor Abrantes, J.R.M.d.S., *Método simplificado de Diagnóstico de Anomalias em Edifícios*. 2005, Porto: Gequaltec.
- [9] Lima, C.A.E., *Anomalias de Edifícios - Métodos Simplificados*, in *Civil*. 2009, FEUP: FEUP.
- [10] Lameiras, J.P.C.S., *Contributo para a Elaboração de um Manual de Apoio à Reabilitação de Edifícios das Décadas de 60, 70 e 80*, in *Construções Cívicas*. 2010, FEUP: FEUP.
- [11] Calejo, R., *Manutenção e Reabilitação de Edifícios - Textos de Apoio às 4ª Jornadas de Construções Cívicas*. 1996: FEUP.
- [12] Santos, A.A., *Edifício da Central do Tejo em Lisboa - Caracterização dos materiais e suas Anomalias*, in *Engenharia Civil*. 2013, IST: IST.
- [13] Patorreb, *Patorreb 2006*, in *2º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios*, V.A.e.C.D.G. Vasco Peixoto de Freitas, Editor. 2006: Porto.
- [14] Barreira, E.S.B.M., *Aplicação da Termografia ao Estudo do Comportamento Higrotérmico dos Edifícios*, in *Construções Cívicas*. 2004, FEUP: FEUP.
- [15] Garcia, J.R.R., *Potencialidades da Termografia para o Diagnóstico de Patologias em Edifícios*, in *Construções Cívicas*. 2014, FEUP: FEUP.
- [16] Barreira, E. and V. Freitas, *Avaliação de Descolamentos Localizados em Painéis de Azulejos*. 2015: FEUP.
- [17] Society, A.-T.I.G.I. 2017.
- [18] Valença, J.M.d.A., *Monitorização do Estado de Conservação de Estruturas de Betão por Processamento de Imagem e Análise Multi-Espectral*, in *Engenharia Civil*. 2011, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra: Coimbra.
- [19] Córias, V., *Inspeções e Ensaaios na Reabilitação de Edifícios*. 10-2008 ed. 2006.
- [20] FAUTL, *Metodologias de Levantamento - Fotogrametria e Varrimento Laser 3D*. 2011.

- [21] Tirello, R.A. and R.H. Correa, *Sistema Normativo para Mapa de Danos de Edifícios Históricos aplicado à Lidgerwood Manufacturing Company de Campinas*, GCOR, Editor.
- [22] Leica, Leica ScanStation, Leica, Editor. 2015.
- [23] Beata, B., G. Gonçalves, and A. Berberan, *Combinação da Fotogrametria Digital Terrestre e dos Sistemas de Varrimento Laser Terrestre na Inspeção visual assistida de barragens de betão: o caso da barragem do Cabril*, in Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia, OE, Editor. 2015, OE.
- [24] Value, S. 10/06/2017]; Available from: <http://www.structurevalue.com/>.
- [25] Superfície. 10/06/2017]; Available from: <http://www.superficie.pt/web/>.
- [26] Artop. 10/06/2017]; Available from: <http://artop.pt/>.
- [27] OZ. 10/06/2017]; Available from: <http://www.oz-diagnostico.pt/>.
- [28] Situ, I. 10/06/2017]; Available from: <http://www.insitu.pt/>.
- [29] Artscan. 10/06/2017]; Available from: <http://www.artescan.net/>.
- [30] Satopel. 10/06/2017]; Available from: <http://www.satopel.pt/>.
- [31] Rigor, T. 10/06/2017]; Available from: <http://www.toporigor.pt/>.
- [32] Estereofoto. 10/06/2017]; Available from: <http://www.estereofoto.pt/>.
- [33] Regulador, T. 10/06/2017]; Available from: <http://www.tracado.pt/pt/>.
- [34] PPH. 10/06/2017]; Available from: <http://www.peritagemdeedificios.com/>.
- [35] IMODiag. 10/06/2017]; Available from: <http://www.imodiag.pt/>.
- [36] Spybuilding. [cited 10/06/2017; Available from: <http://www.spybuilding.com/>.
- [37] ITeCons. 10/06/2017]; Available from: <http://www.itecons.uc.pt/>.
- [38] Estratégico, P. 10/06/2017]; Available from: <http://www.pilarestrategico.pt/>.
- [39] Abreu, D.M.F.F.d., *Técnicas de Diagnóstico Utilizadas em Engenharia Civil*, in Construções Cívicas. 2013, FEUP: FEUP.
- [40] Tsou, A., *Técnicas de Diagnóstico utilizadas em Engenharia Civil - Reabilitação de Edifícios*. 2017, FEUP: FEUP.
- [41] FLIR. 2017 10/06/2017]; Available from: <http://www.flir.com.br/instruments/display/?id=61259>.
- [42] LNEC, *Metodologia de Diagnóstico de Anomalias Devidas à Humidade em Paredes Antigas*. 2008, LNEC: Lisboa.
- [43] NCREP. *Ensaaios Esclerométricos em Betões*. 2017.
- [44] Freitas, V.P.d. and P.d.S. Pinto, *Permeabilidade ao Vapor de Materiais de Construção - Condensações Internas*. 1998, Porto: Laboratório de Física das Construções - FEUP.
- [45] Iberica, G.I.S. 2017 10/06/2017]; Available from: <http://www.fissurometros.pt/FI007.php>.
- [46] Autodesk, REVIT. 2017.
- [47] Canon. 2017 10/06/2017]; Available from: http://www.canon.pt/for_home/product_finder/cameras/digital_slr/eos-80d/#feature.

- [48] Colorfoto. 2017 10/06/2017]; Available from: <http://www.colorfoto.pt/loja/prod/benro-benro-kit-tripe-active-tac008ap0/6931747335350/>.
- [49] Kolor. Autopano. 2017 15/4/2017]; Available from: <http://www.kolor.com/autopano/#start>.
- [50] Fluke. 2017 23/04/2017]; Available from: <http://www.fluke.com/fluke/ptpt/products/termometros.htm>.
- [51] Gesa. 2017 23/04/2017]; Available from: <https://www.termometros.com/es/higrometro?gclid=CPSl3Ln1utMCFda4Gwoda7kB9w>.
- [52] LFC. 2017 26/04/2017]; Available from: <http://paginas.fe.up.pt/~wufi/>.
- [53] 2000, C.

A.1

DESENHOS DO MAPEAMENTO



TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO E
MAPEAMENTO DE PATOLOGIAS EM
FACHADAS

Artur Filipe Moreira dos Santos

Dissertação submetida para satisfação parcial
dos requisitos do grau de
**Mestre em Engenharia Civil -
Especialização em Construções Cívicas**

Orientador:
Professor Doutor Vasco Manuel Araújo
Peixoto de Freitas

designação:
FOTOGRAFIA AÉREA

escala: 1/100
data: Junho 2017

folha:
1



LEGENDA:
 Alçado exterior

TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO E
MAPEAMENTO DE PATOLOGIAS EM
FACHADAS

Artur Filipe Moreira dos Santos

Dissertação submetida para satisfação parcial
dos requisitos do grau de
**Mestre em Engenharia Civil -
Especialização em Construções Cíveis**

Orientador:
Professor Doutor Vasco Manuel Araújo
Peixoto de Freitas

designação:
**FOTOGRAFIA PANORÂMICA
- ALÇADO ESTE**

escala: 1/100
data: Junho 2017

folha:
2



- LEGENDA:
- E6 - Fissuração/deterioração de juntas de ladrilhos
 - E8 - Fissuração predominantemente vertical
 - E14 - Destacamento ladrilho cerâmico
 - E15 - Eflorescências/criptoflorescências
 - E17 - sujidade/manchas de poluição
 - E19 - Corrosão de elementos metálicos



LEGENDA:

I4 - Fissuração sem orientação preferencial - craquelê

I14 - Colonização biológica

I16 - Humidade de infiltração

TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO E
MAPEAMENTO DE PATOLOGIAS EM
FACHADAS

Artur Filipe Moreira dos Santos

Dissertação submetida para satisfação parcial
dos requisitos do grau de
**Mestre em Engenharia Civil -
Especialização em Construções Cíveis**

Orientador:
Professor Doutor Vasco Manuel Araújo
Peixoto de Freitas

designação:
**MAPEAMENTO DAS
PATOLOGIAS NA FACE
INTERIOR**

escala: 1/100
data: Junho 2017

folha:
4



LEGENDA:
O4 - Pontes térmicas



- LEGENDA:
- E6 - Fissuração/deterioração de juntas de ladrilhos
 - E8 - Fissuração predominantemente vertical
 - E14 - Destacamento ladrilho cerâmico
 - E15 - Eflorescências/criptoflorescências
 - E17 - sujidade/manchas de poluição
 - E19 - Corrosão de elementos metálicos
 - I4 - Fissuração sem orientação preferencial - craquelê
 - I14 - Colonização biológica
 - I16 - Humidade de infiltração
- Correlação forte



- LEGENDA:
- E6 - Fissuração/deterioração de juntas de ladrilhos
 - E8 - Fissuração predominantemente vertical
 - E14 - Destacamento ladrilho cerâmico
 - E15 - Efflorescências/criptoflorescências
 - E17 - sujidade/manchas de poluição
 - E19 - Corrosão de elementos metálicos
 - O4 - Pontes térmicas
 - Correlação forte
 - Correlação moderada

TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO E
MAPEAMENTO DE PATOLOGIAS EM
FACHADAS

Artur Filipe Moreira dos Santos

Dissertação submetida para satisfação parcial
dos requisitos do grau de
**Mestre em Engenharia Civil -
Especialização em Construções Cívicas**

Orientador:
Professor Doutor Vasco Manuel Araújo
Peixoto de Freitas

designação:
**MAPA DE CORRELAÇÕES 2 -
PATOLOGIAS VISÍVEIS NAS
FACES EXTERIOR E
PATOLOGIAS NÃO VISÍVEIS**

escala:
1/100
data:
Junho 2017

folha:
7



- LEGENDA:
- I4 - Fissuração sem orientação preferencial - craquelê
 - I14 - Colonização biológica
 - I16 - Humidade de infiltração
 - O4 - Pontes térmicas
 - Correlação fraca